

Ermittlung von Außenputzzeiten für Außenwände,  
die unverputzt unzureichend oder gefährdet sind

XXI 150-1

2099



Bericht aus dem

Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung  
der Technischen Hochschule Braunschweig

Ermittlung von Außenputzarten für Außenwände,  
die unverputzt unzureichend oder gefährdet sind

o. Professor Dr.-Ing. habil. Th. Kristen  
Oberingenieur Dipl.-Ing. H.-J. Wierig

Januar 1958

*JK 693.625.001.5*

Die Arbeiten wurden durchgeführt im Auftrage des  
Bundesministeriums für Wohnungsbau Az. 4118 Nr. 60.1

# Inhaltsübersicht

Seite:

1. Allgemeines . . . . .	1
2. Arbeitsplan . . . . .	6
3. Versuche . . . . .	8
3.1 Nebenuntersuchungen . . . . .	8
3.11 Bindemittel . . . . .	8
3.12 Zuschlagstoffe . . . . .	9
3.13 Putzmörtel . . . . .	12
3.14 Silicon-Anstrichmittel . . . . .	14
3.15 Dichtungsmittel . . . . .	15
3.2 Schlagregenversuche . . . . .	17
3.21 Allgemeines . . . . .	17
3.22 Versuchsmaterial . . . . .	17
3.23 Versuchsanordnung . . . . .	21
3.24 Versuchsdurchführung . . . . .	24
3.25 Versuchsergebnisse . . . . .	28
3.26 Auswertung der Versuchsergebnisse . . . . .	34
3.3 Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit . . . . .	52
3.31 Allgemeines . . . . .	52
3.32 Versuchsmaterial . . . . .	54
3.33 Versuchsanordnung . . . . .	54
3.34 Versuchsdurchführung . . . . .	55
3.35 Versuchsergebnisse . . . . .	59
3.36 Vergleich von Wasserdampfdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen . . . . .	62
4. Zusammenfassung . . . . .	63
Schrifttumsnachweis . . . . .	71

## 1. Allgemeines

Unter den im Hochbau auftretenden Bauschäden sind die Durchfeuchtungsschäden besonders unangenehm, weil sie oft nur schwer beseitigt werden können. Durchfeuchtete Außenwände verursachen nicht nur Sachschäden am Bauwerk und an Einrichtungsgegenständen. Sie führen häufig auch zu schweren gesundheitlichen Schäden der Bewohner. Außerdem treten wirtschaftliche Nachteile auf: Feuchte Wände leiten die Wärme besser als trockene, wie aus Abb. 1 an dem Beispiel von Mauerziegeln zu sehen ist. Dadurch wird u.a. der Verbrauch an Heizmaterial erhöht.

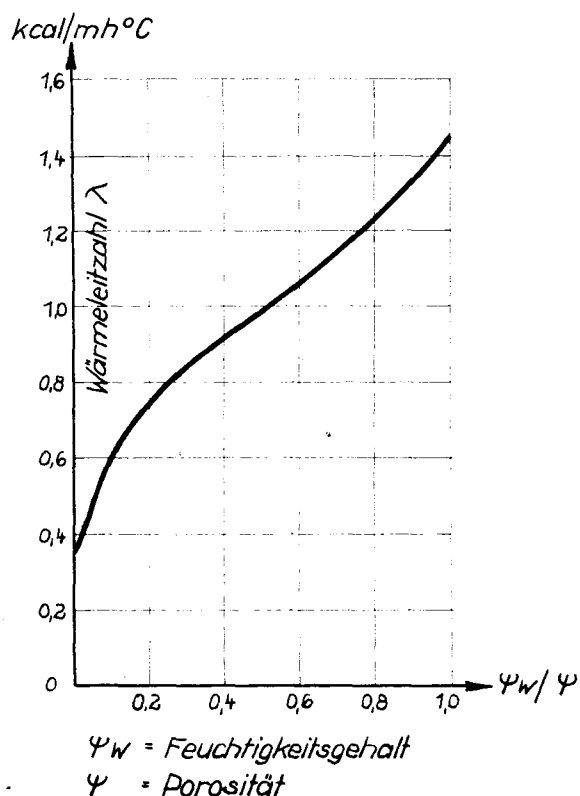


Abb. 1

Wärmeleitfähigkeit  
an Mauerziegeln  
( $R = 1320 \text{ kg/m}^3$ )  
bei etwa  $20^\circ\text{C}$  nach 1)  
Krischer (1)

Diese wenigen Beispiele zeigen, daß bei Planung und Ausführung von Bauwerken alle Vorkehrungen getroffen werden müssen, um das Eindringen von Feuchtigkeit in die Außen-

1) Die Ziffern in Klammern beziehen sich auf den Schrifttumsnachweis auf Seite 71



wände zu erschweren. Die verwendeten Baustoffe und die ausgewählten Konstruktionen müssen weiterhin so beschaffen sein, daß trotz aller Vorsichtsmaßnahmen doch eindringenes Wasser wieder an die Außenluft abgegeben werden kann.

Schädliche Feuchtigkeit kann auf verschiedenen Wegen in die Außenwände gelangen. Diese Arbeit befaßt sich ausschließlich mit den Möglichkeiten des Schutzes gegen eindringende *N i e d e r s c h l ä g e*. Die Erfahrung zeigt, daß feuchte Außenwände besonders oft an den Küsten und in Gebirgsländern vorkommen (Abb. 2), wo häufige Regen zusammen mit starken Winden auftreten. Derartige Regen werden in der Literatur als "Schlagregen" bezeichnet.

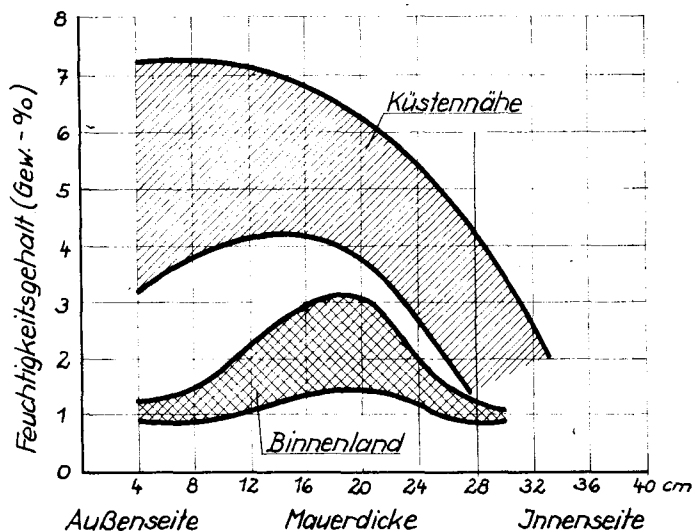


Abb. 2

Bereiche der Feuchtigkeitsverteilungen in Wohnraumaußenwänden nach Schüle u. Schäcke (2)

Zahlreiche früher im In- und Ausland durchgeführte Schlagregen-Versuche an Außenwänden (3) haben ergeben, daß bei den "klassischen" Bauweisen, z.B. dem Bau mit Ziegeln, die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen hauptsächlich von der handwerklichen Ausführung der verwendeten Baustoffe abhängig ist.

Andere Voraussetzungen liegen bei einigen modernen Bauweisen vor: die Dicke der Außenwände ist in den letzten Jahr-

zehnten aus verschiedenen Gründen immer geringer geworden. Um trotzdem einen guten Wärmeschutz zu erreichen, werden gerne gut isolierende, leichte Baustoffe verwendet. Einige dieser Baustoffe bieten aber keinen ausreichenden Schutz gegen Niederschlagsfeuchtigkeit. Versuche zeigten (4), daß z.B. Wände aus verschiedenen Leichtbetonarten auch bei guter Verarbeitung durch Schlagregen sehr schnell durchfeuchtet werden. Solche Wände sind daher gegen eindringendes Regenwasser zu schützen.

Schon früher wurde häufig die Frage gestellt, ob es möglich ist, Außenwände durch Putze "schlagregensicher" zu machen? Diese Frage ist meistens verneint worden. Die neueren Versuche von Bröcker (4) haben dagegen gezeigt, daß die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen von Wänden, die unverputzt vollkommen unzureichend waren, durch einen Putz erheblich verbessert wurde. In Zahlentafel 1 sind einige Ergebnisse von Schlagregenversuchen an Wänden zusammengestellt.

#### Zahlentafel 1

Durchfeuchtung von Außenwänden infolge von Schlagregenbeanspruchung nach Bröcker (4)

Art der Wand	Dicke der Wand cm	Dauer bis zur 1. Durchfeuchtung auf der Wandrückseite	
		unverputzt	verputzt <sup>1)</sup>
Mauerziegel Mz 100	38	9 Std.	86 Std.
Kalksandvollsteine	38	60 Std.	125 Std.
Ziegelsplittvollsteine	24	30 Min.	61 Std.
Schlackenvollsteine	24	45 Min.	65 Std.
Naturbimsvollsteine	24	20 Min.	nicht untersucht
Ytong	20	1 Std.	69 Std.

- <sup>1)</sup> Unterputz 1 cm Kalkzementmörtel 1 : 2 : 8 n. Rtl.  
Oberputz 1 cm Weißkalkmörtel 1 : 3 n. Rtl.

Aus Zahlentafel 1 ist zu ersehen, daß die Zeit vom Beginn des Schlagregenversuches bis zu dem Augenblick, in dem auf der Wandrückseite die erste Durchfeuchtung festgestellt wurde, bei verputzten Wänden bis zu 120 mal größer war als bei gleichartigen unverputzten Wänden.

Der Außenputz war also nicht nur ein "Schönheitsmittel" sondern erfüllte eine wichtige konstruktive Aufgabe. Offen blieb die Frage, ob es besonders gut geeignete Putze gibt?

Diese Frage konnte nur durch Schlagregenversuche an verschiedenen Putzarten geklärt werden. In das Versuchsprogramm wurden neben den wichtigsten althergebrachten Putzarten Putze mit Dichtungszusatz und einem Silicon-Anstrich aufgenommen. Durch genaue Festlegung der Versuchsbedingungen ist es möglich, die Versuchsergebnisse auch als Grundlage für spätere Versuche mit anderen Anstrichmitteln, z.B. solchen auf Kunststoffbasis, zu verwenden.

Ziel der Versuche war es, Putzarten zu finden, die möglichst Wasser-undurchlässig (schlagregensicher) dabei aber Wasserdampf-durchlässig (atmungsaktiv) sind. Außerdem sollten die wichtigsten Einflüsse auf diese beiden entgegengerichteten Eigengeschaften festgestellt und für die Praxis die von Fall zu Fall günstigste Lösung angegeben werden.

Eine Schwierigkeit bei allen Forschungsarbeiten an Putzen besteht darin, daß in der Baupraxis die Putztechnik und die für die Putze verwendeten Baustoffe und Mischungsverhältnisse landschaftlich erheblich voneinander abweichen. Es war daher ausgeschlossen, in dem Versuchsprogramm sämtliche Möglichkeiten zu erfassen. Die getroffene Auswahl gestattete aber eine Beurteilung der wichtigsten Einflüsse auf das Verhalten der Putze.

Nach DIN 18 550 "Putz; Baustoffe und Ausführung" sollen Außenputze zweilagig und in mindestens 20 mm Dicke ausgeführt werden. Trotzdem wurden in das Versuchsprogramm

hauptsächlich einlagige nur aus einer Mörtelart bestehende Putze aufgenommen. Dadurch war es möglich, die verschiedenen Einflüsse auf das feuchtigkeitstechnische Verhalten von Putzen getrennt zu bestimmen. Der Arbeitsplan enthielt nur eine Versuchsreihe von zweilagigen Putzen. Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigten, daß aus den Eigenschaften der einlagigen Putze durch Rechnung auf das Verhalten der zweilagigen Putze geschlossen werden kann.

Es war nicht möglich, alle Putze auch noch auf den wichtigsten verschiedenen Wandbaustoffen als Putzgrund zu untersuchen, da das Versuchsprogramm sonst zu umfangreich geworden wäre. Deshalb wurde auf die Feststellung der zweifellos vorhandenen Wechselwirkung zwischen Putz und Putzgrund verzichtet und nur die Putze "an sich" geprüft.

## 2. Arbeitsplan

Die folgende Beschreibung des Arbeitsplanes gibt einen Überblick über die ausgewählten Putzarten und über die durchgeführten Neben- und Hauptversuche.

### 2.1 Putzarten

Die für die Versuche ausgewählten Putze unterschieden sich in den folgenden Punkten:

Bindemittel:	Zement, Weißkalk + Zement, hochhydraul. Kalk und Weißkalk.
Zuschlagstoffe:	Sand I, mit hohem Feinsandanteil Sand II, mit geringem Feinsandanteil außerdem für einige Ergänzungsuntersuchungen: Sand III mit sehr hohem Feinsandanteil Sand IV mit hohem Grobsandanteil
Dichtungsmittel:	Jede Putzart wurde ohne und mit Dichtungsmittelzusatz untersucht.
Siliconanstrich:	Jede Putzart wurde ohne und mit einem Siliconanstrich geprüft.
Dicke der Putze:	1,5 cm dicke einlagige und 2 cm dicke zweilagige Putze. Außerdem einige Versuche an Putzen bis zu 5 cm Dicke.

### 2.2 Nebenuntersuchungen

Um einen Überblick über die bautechnisch wichtigsten Eigenschaften der verwendeten Baustoffe zu erlangen, wurden folgende Nebenuntersuchungen durchgeführt:

Bindemittel:	Überprüfung der Normengerechtigkeit
Zuschlagstoffe:	Feststellung der Sieblinien, Überprüfung des Anteils an schädlichen Bestandteilen.
Putzmörtel:	Bestimmung der Biegezugfestigkeit und Druckfestigkeit an Prismen. Feststellung des Raumgewichtes und der Porosität an Bruchstücken aus den für die Hauptversuche benutzten Putzproben.

### 2.3 Hauptversuche

#### 2.31 Schlagregenversuche

Die Untersuchungen der Putzarten auf Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen-Durchfeuchtungen bildeten den wichtigsten Teil des Versuchsprogrammes. Für die Versuche standen in der Regel von jeder Putzart vier Putzproben zur Verfügung. Es wurden insgesamt vier Berechnungen in folgendem Zeitablauf durchgeführt:

1. Berechnung:	Etwa	4 Wochen	nach Herstellung der Putzproben
2. Berechnung:	Etwa	4 Monate	" " " "
3. Berechnung:	Etwa	12 Monate	" " " "
4. Berechnung:	Etwa	2 Jahre	" " " "

In der ersten und zweiten Berechnung wurden jeweils nur eine Hälfte aller Putzproben, d.h. von jeder Putzart 2 Proben, in der dritten und vierten Berechnung sämtliche Putzproben berechnet.

#### 2.32 Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit

Die Versuche zur Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit wurden meistens an zwei Putzproben von jeder Putzart durch-

geführt. Die Untersuchungen fanden zwischen der dritten und vierten Beregnung statt. Die Putzproben waren zu dieser Zeit etwa 20 - 24 Monate alt. Zur Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit wurden die selben Putzproben benutzt, die bei den Schlagregenversuchen Verwendung fanden.

### 3. V e r s u c h e

#### 3.1 Nebenuntersuchungen

In diesem Abschnitt sind die Ergebnisse der Nebenuntersuchungen an den für die Putzproben verwendeten Bindemitteln, Zuschlagstoffen und Mörteln zusammengestellt. Außerdem sind die Eigenschaften der Dichtungs- bzw. Siliconanstrichmittel auf Grund von Angaben der Herstellerfirmen beschrieben.

##### 3.11 Bindemittel

Für die Versuche wurden folgende Bindemittel verwendet:

Portlandzement Z 225 nach DIN 1164,  
hochhydraulischer Kalk HK 80 <sup>1)</sup> nach DIN 1060,  
Weißkalk nach DIN 1060

Die verwendeten Bindemittel erfüllten in den untersuchten Punkten die Anforderungen der Normen DIN 1164 bzw. DIN 1060. In Zahlentafel 2 sind die geprüften Eigenschaften der Bindemittel zusammengestellt.

---

<sup>1)</sup> Nach der neuen Ausgabe von DIN 1060 (Juli 1955) entspricht der verwendete hochhydraulische Kalk einem HK 50.

Zahlentafel 2

Eigenschaften der verwendeten Bindemittel

Bindemittel	Biegezug- festig- keit km/cm <sup>2</sup>	Druck- festig- keit km/cm <sup>2</sup>	Liter- gewicht lose kg/l	Raum- bestän- digkeit	Erstar- rungs- beginn
Zement Z 225	86,0	421	1,17	DIN 1164 § 23 erfüllt	5 <sup>h</sup> 50'
Hochhydr.Kalk HK 80	17,6	50	0,97	DIN 1060 erfüllt	-
Weißkalk	-	9 <sup>1)</sup>	0,41	DIN 1060 erfüllt	-

1) Nachweis wird in DIN 1060 nicht gefordert.

3.12 Zuschlagstoffe

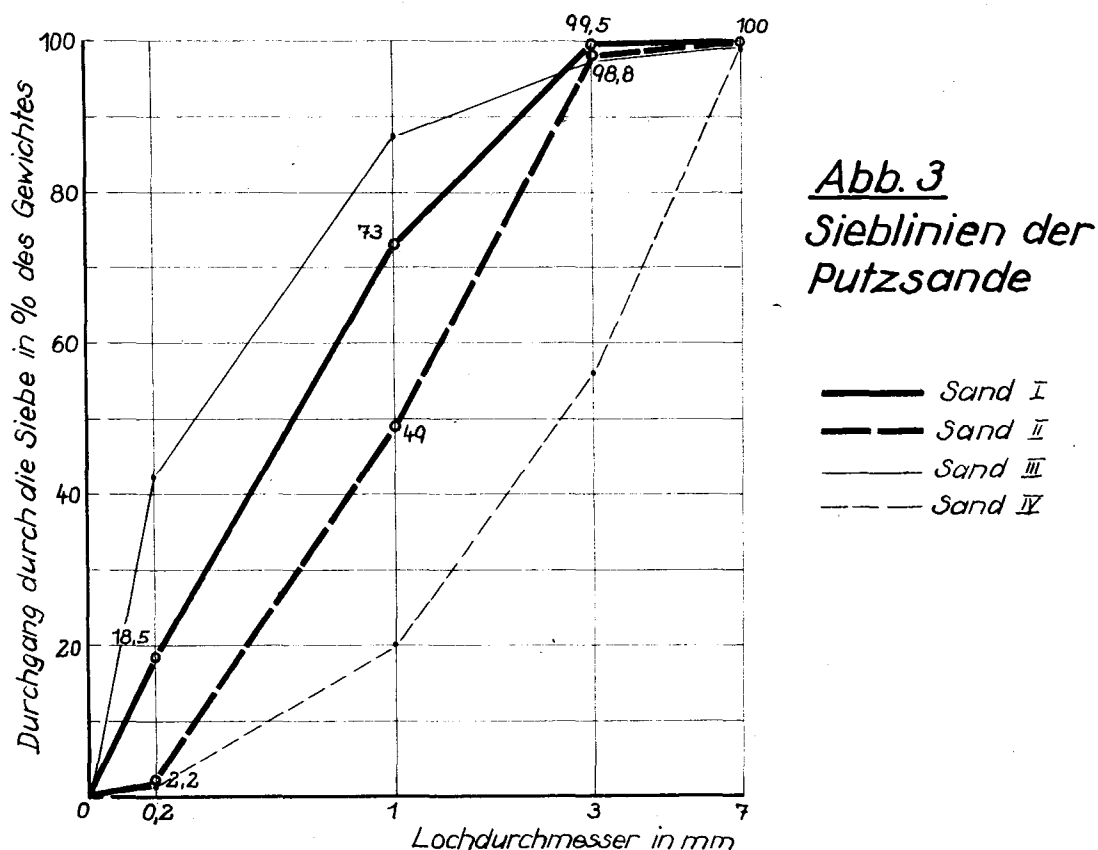
Zur Herstellung der Putzproben für die Versuche wurden zwei verschiedene Sande - Sand I (mit höherem Feinsandanteil) und Sand II (mit geringem Feinsandanteil) benutzt. Durch Verwendung dieser Sande sollte der Einfluß der Kornzusammensetzung der Zuschlagstoffe auf die Widerstandsfähigkeit von Putzen gegen Schlagregenbeanspruchung erfaßt werden.

Die Sieblinien von Sand I und Sand II sind in Abb. 3 graphisch dargestellt. Abb. 4 und 5 zeigen die Aufnahmen je einer Putzfläche aus Sand I und Sand II. Außer den für die überwiegende Mehrzahl aller Putzflächen benutzten Sanden I und II wurden für je zwei nachträglich hergestellte Putzflächen noch zwei weitere Sand III und IV verwendet. Diese Sande zeichneten sich durch verhältnismäßig extreme Körnungen aus. Die Sieblinien dieser Sande sind in Abb. 3 dünn ausgezogen.

Die Sieblinie des Sandes II ist durch den sehr geringen Anteil der feinen Körnung 0 bis 0,2 mm (2,2 Gew.-%) gekenn-



zeichnet. Vergleichsweise fordert DIN 18 550 <sup>1)</sup> Abs. 4.22



für diese Korngruppe einen Anteil im Bereich zwischen 10 und 25 Gew.-%. Auch international wird von Fachleuten für diese Korngruppe meistens ein Mindestanteil von 10 Gew.-% gefordert (5).

Der Gehalt an aufschl ä m m b a r e n Bestandteilen betrug beim

Sand I : 2,62 Gew.-%

Sand II : 0,33 Gew.-%

In beiden Fällen wurden also die Richtwerte von DIN 18 550 Abs. 4.21 an die Reinheit der Zuschlagstoffe erfüllt. Das gleiche gilt von dem Gehalt an o r g a n i s c h e n Bestandteilen. Die Behandlung der Sande mit 3 %iger Natron-

<sup>1)</sup> DIN 18550 Putz, Baustoffe und Ausführung, Oktober 1955

Abb. 4

Putzfläche  
aus hoch-  
hydraul.  
Kalk  
Sand I

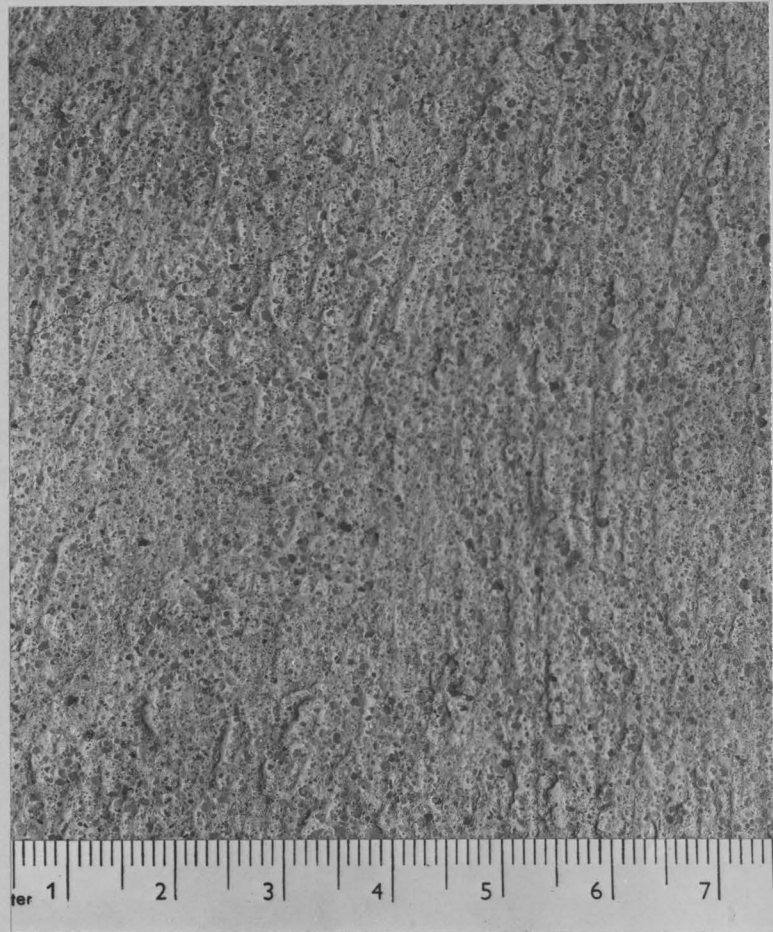
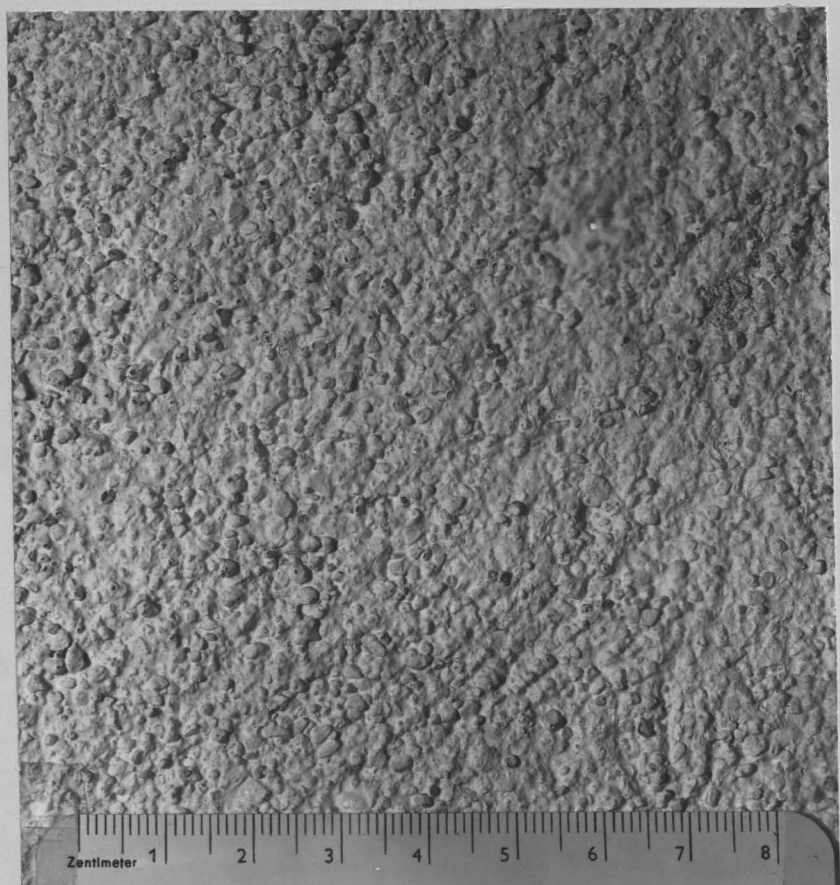


Abb. 5

Putzfläche  
aus Weiß-  
kalkmörtel  
Sand II



lauge ergab nach einer Versuchsdauer von 24 Stunden eine farblos-hellgelbe Flüssigkeit. Die Kornform war bei beiden Sanden gedrunken.

### 3.13 Putzmörtel

Während der in Kap. 3.222 beschriebenen Herstellung der Putzproben für die Schlagregenversuche wurden von allen Putzmörtelarten 3 Prismen von den Abmessungen 4 x 2,5 x 16 cm angefertigt. Diese Abmessungen wurden in Abweichung von den sonst üblichen Prismen (4 x 4 x 16 cm) gewählt, um bei den Prismen ähnliche Verhältnisse zu erreichen, wie sie bei den Putzproben (Dicke 1,5 cm bzw. 2 cm) vorlagen. Die Prismen dienten zur Bestimmung der Biegezug- und Druckfestigkeiten der Mörtel.

Diese Festigkeitsuntersuchungen fanden 28 Tage nach der Herstellung der Prismen statt. Im Gegensatz dazu erfolgte die Bestimmung der Raumbewichte und der P o r o s i t ä t e n der Putzmörtel etwa 2 1/2 Jahre später an Bruchstücken aus den für die Schlagregenversuche verwendeten Putzproben.

Die Bestimmung der R a u m g e w i c h t e der Putze erfolgte auf folgende Weise: 5 Probestücke wurden zunächst von lockeren Teilen gereinigt, bei 100°C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet und gewogen ( $G_{tr}$ ). Dann wurden die Proben wassergesättigt und die Gewichte der wassersatten Stücke durch Wägung bestimmt ( $G_s$ ). Danach wurde mit einer Senkwaage das Unterwassergewicht ( $G_u$ ) der Proben festgestellt und das Raumbewicht  $r$  nach folgender Formel bestimmt:

$$r = \frac{G_{tr}}{G_s - G_n}$$

Die Bestimmung der P o r o s i t ä t  $P$  der Putzproben

### Zahlentafel 3

#### Eigenschaften der Putzmörtel

M ö r t e l a r t	Sand	ohne Dichtungsmittelzusatz				mit Dichtungsmittelzusatz			
		Festigkeiten		Raum- gewicht kg/m <sup>3</sup> 2)	Poro- sität Vol.-% 2)	Festigkeiten		Raum- gewicht kg/m <sup>3</sup> 2)	Poro- sität Vol.-% 2)
		Biege- zug kg/cm <sup>2</sup> 1)	Druck kg/cm <sup>2</sup> 1)			Biege- zug kg/cm <sup>2</sup> 1)	Druck kg/cm <sup>2</sup> 1)		
Zementmörtel	I	59	229	2140	21	53	212	-	-
Zementmörtel	II	45	245	2170	20,5	53	198	-	-
Kalk-Zementmörtel	I	9	95	2040	24,5	14	73	2000	25,5
Kalk-Zementmörtel	II	17	140	2100	23	15	98	2070	24,5
Hochhydraul.Kalkmörtel	I	-	41	1890	29,5	-	29	1820	35
Hochhydraul.Kalkmörtel	II	4	87	2020	26	4	51	1970	27
Weißkalk-Mörtel	I	-	14	1920	29	-	13	1920	28,5
Weißkalk-Mörtel	II	-	10	2040	25,5	-	9	1990	26,5

1) Die Werte wurden an Prismen 4 x 2,5 x 16 cm 28 Tage nach der Herstellung ermittelt.

2) Die Werte wurden an Bruchstücken der Putzproben etwa 2 1/2 Jahre nach der Herstellung bestimmt.

erfolgte in Anlehnung an DIN 52 103 Abs. C <sup>1)</sup> in einem Saugfähigkeitsprüfer (Drucktopf) unter einem Überdruck von 150 kg/cm<sup>2</sup>. Nach Ermittlung der Trockengewichte wurden die Putzproben zunächst unter Wasser in einem luftverdünnten Raum bei 20 Torr entlüftet, bis keine Luftblasen mehr aufstiegen. Anschließend lagerten die Proben in dem Drucktopf 24 Stunden lang bei einem Überdruck von etwa 150 kg/cm<sup>2</sup>. Die Porosität konnte dann näherungsweise nach folgender Formel bestimmt werden.

$$P \sim A_d \cdot r = \frac{G_d - G_{tr}}{G_{tr}} \cdot 100 \cdot r \quad \%$$

P = Porosität in Vol.-%

A<sub>d</sub> = Wasseraufnahme unter 150 kg/cm<sup>2</sup> Überdruck in Gew.-%

G<sub>tr</sub> = Gewicht der Probe nach Trocknung bis zur Gewichtskonstanz in g

G<sub>d</sub> = Gewicht der Probe nach dem Entlüften und der Sättigung unter 150 kg/cm<sup>2</sup> Überdruck in g

r = Raumgewicht der Probe in g/cm<sup>3</sup>

Die Eigenschaften der Putzmörtel sind in Zahlentafel 3, Seite 13 zusammengestellt.

### 3.14 Silicon-Anstrichmittel

Bei einem Teil der Putzflächen war im Arbeitsplan ein Silicon-Anstrich vorgesehen. Für diesen Anstrich wurde ein bekanntes deutsches Markenfabrikat benutzt. Nach Angabe des Herstellers handelt es sich bei dem verwendeten Anstrichmittel um ein Siliconpräparat, dessen wirksamster Bestandteil das wasserlösliche Natriumsalz der Monomethylorthokieselsäure (Natriummethylsiliconat) ist.

Es ist nicht bekannt, in welcher Konzentration die Silicone in dem vom Hersteller gelieferten Material vorhanden sind.

<sup>1)</sup> DIN 52 103 "Prüfung von Natursteinen, Wasseraufnahme, Wasserabgabe", Aug. Nov. 1942

Um einen Überblick über die ungefähre Konzentration des Mittels und damit der aufgetragenen Anstriche zu haben, wurden die Dichte und der  $p_H$ -Wert bestimmt.

Zum Vergleich sind in Zahlentafel 4 die in (6) angegebenen Werte eines amerikanischen Silicon-Erzeugnisses <sup>1)</sup> von bekannter Konzentration und die ermittelten Werte des für die Versuche verwendeten deutschen Mittels zusammengestellt.

Zahlentafel 4

Eigenschaften von Silicon-Anstrichmitteln

	$p_H$	Dichte kg/l	festes Silicon ( $CH_3$ Si)	Gesamte Fest- substanz	Farbe
amerikanisches Erzeugnis	13	1,198	20 %	31 %	schwach gelb
deutsches Erzeugnis	12,5	1,02	-	2,5 %	schwach gelb

3.15 Dichtungsmittel

Bei einem Teil der zu untersuchenden Putze ist im Arbeitsplan ein Dichtungsmittelzusatz zum Putzmörtel vorgesehen. Bei dem verwendeten Dichtungsmittel handelt es sich um ein bekanntes deutsches Markenfabrikat, das in Pulverform im Handel ist. Das Material wird dem Trockenmörtel in einer Menge von 2 % des Bindemittelgewichtes zugesetzt.

Über die chemische Zusammensetzung des Dichtungsmittels liegen keine genauen Angaben vor. Bekannt ist nur, daß es aus "Mineralien, Salzen und Oleaten" besteht. Nach Angabe des Herstellers soll die dichtende Wirkung darauf beruhen, daß die Kapillarwandungen der erhärteten Mörtel durch das Mittel

<sup>1)</sup> SC - 50 der General Electric Co.

"hydrophob" werden. Dadurch soll die durch Kapillarkräfte verursachte Feuchtigkeitsschwundung in Putz herabgesetzt bzw. verhindert werden.

Bei der Beurteilung von Dichtungsmitteln müssen neben der dichtenden Wirkung auch etwaige andere Einflüsse, z.B. Änderungen in der Festigkeit gegenüber den gleichen Mörteln ohne Zusatz berücksichtigt werden. Aus Zahlentafel 3 (Seite 13) kann der Einfluß des Dichtungsmittels auf Festigkeiten, Raungewichte und Porosität der Mörtel entnommen werden. In Zahlentafel 5 sind die Änderungen der Mörtелеigenschaften infolge des Dichtungsmittels in Prozenten, bezogen auf die Mörtелеigenschaften ohne Zusatz, zusammengestellt.

Zahlentafel 5

Veränderung der Putzmörtелеigenschaften infolge  
des Dichtungsmittelzusatzes in % 1)

Putzart	Sand	Festigkeiten		Raum- gewicht	Porosität
		Biegezug-	Druck-		
Zement	I	90	92	-	-
Zement	II	116	81	-	-
Kalk-Zement	I	151	77	98	104
Kalk-Zement	II	87	70	98	107
h.hydraul.Kalk	I	-	71	96	119
h.hydraul.Kalk	II	95	59	97	104
Weißkalk	I	-	94	100	98
Weißkalk	II	-	87	98	104

1) Putzmörtel ohne Dichtungszusatz = 100 %

### 3.2 Schlagregenversuche

#### 3.21 Allgemeines

Unter "Schlagregen" wird in der Fachliteratur ein Regen verstanden, der zusammen mit starken Winden auftritt.

Bröcker (4) gibt folgende Definition:

"Schlagregen" ist mit Niederschlag (Regen) verbundener Wind von mindestens der Stärke 5 <sup>1)</sup>. "Schwerer Schlagregen" ist mit Niederschlag (Regen) verbundener Wind von mindestens der Stärke 8 <sup>1)</sup>".

Eine genaue Festsetzung der Regenmenge ist nach Bröcker nicht erforderlich. Für Versuche empfiehlt Bröcker, die Regenmenge mindestens so groß zu wählen, daß auf der beanspruchten Wand ein "kontinuierlicher Wasserfilm" vorhanden ist.

Den im folgenden beschriebenen Versuchen liegt die o.a. Definition eines "schweren Schlagregens" von Bröcker zugrunde.

#### 3.22 Versuchsmaterial

##### 3.221 Konstruktion der Putzproben

Die Schlagregenversuche wurden an Putzproben durchgeführt, die aus einem Holzrahmen, einer Maschendrahtbewehrung und der eigentlichen Putzprobe bestanden (Vergl. Abb. 6 und 7, Seite 18). Der Holzrahmen und die Bewehrung hatten den Zweck, die Putzproben genügend auszusteifen und sie bei den im Laufe der Zeit unvermeidlichen mechanischen Beanspruchungen gegen Beschädigungen zu schützen.

Die Holzrahmen der Putzproben bestanden aus 6 cm breiten Latten. Die Dicke dieser Latten betrug bei den einlagigen

<sup>1)</sup> nach Beaufort entsprechen  
Windstärke 5: Windgeschwindigkeiten von 7,5 bis 9,8 m/sec  
Windstärke 8: Windgeschwindigkeiten von 15,4 bis 18,2 m/sec



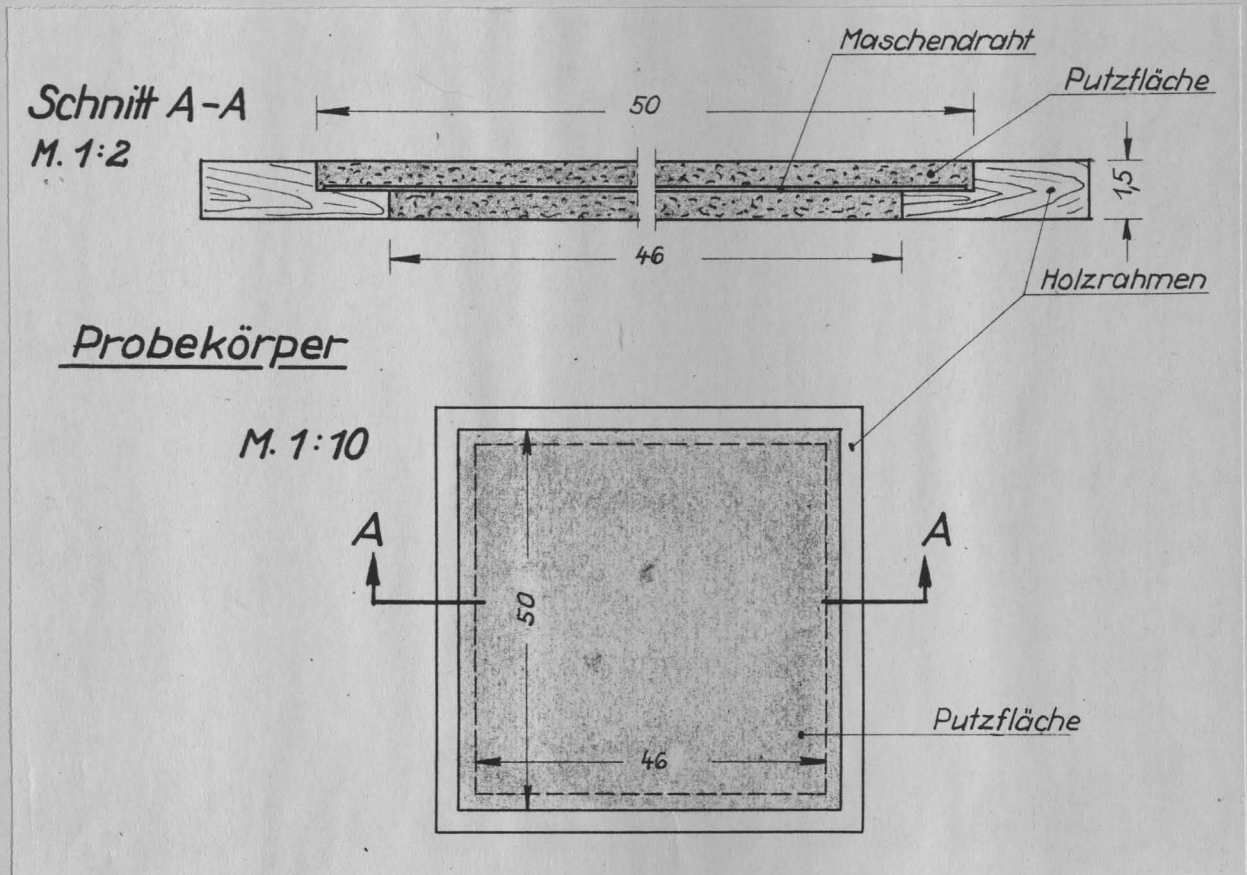


Abb. 6 Konstruktion der Putzflächen für die Schlagregenversuche

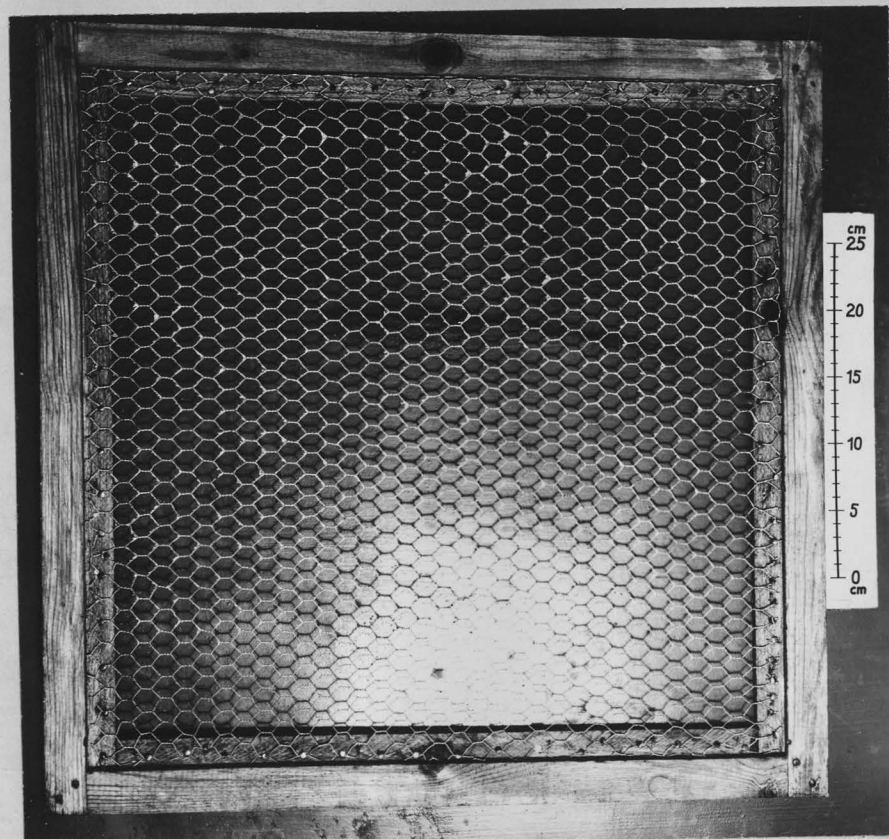


Abb. 7 Holzrahmen mit Drahtbespannung

Putzen 1,5 cm und bei den zweilagigen Putzen 2 cm. Ein in die Latten eingearbeiteter Falz von etwa 2 cm Breite diente zur Befestigung der Maschendrahtbewehrung. Diese Bewehrung war etwa in der Mitte der Putzproben angeordnet.

Jeder Holzrahmen wurde vor dem Einbringen des Putzes zweimal mit Firnis gestrichen, um die Wasseraufnahme des Holzes während der Berechnungen möglichst einzuschränken. Die Konstruktion der Putzproben ist im einzelnen aus den Abb. 6 und 7 zu ersehen. Die Gewichte der Holzrahmen (mit Maschendraht-Bewehrung) sind aus den Zahlentafeln in Anlage 1 zu entnehmen.

### 3.222 Herstellung der Putzflächen

Die Mörtel für die Herstellung der Putzflächen wurden in folgenden Mischungsverhältnissen von Hand gemischt:

Zementmörtel	1 : 3 n. Rtl.
Kalkzementmörtel	1 : 2 : 8 n. Rtl.
h.hydraul.Kalkmörtel	1 : 3 n. Rtl.
Weißkalkmörtel	1 : 3 n. Rtl.

Die Mischungsverhältnisse wurden nach Raunteilen festgelegt. Um ein gleiches Mischungsverhältnis bei allen Putzen derselben Art zu gewährleisten, wurden die einzelnen Bestandteile der Mörtel für die Mischungen abgewogen.

Der mit der Herstellung der Putzflächen beauftragte Handwerker mischte zunächst Bindemittel und Sand solange trocken, bis die Mischung einheitlich gefärbt war. Darauf gab er Wasser zu, bis ein "kellengerechter" Mörtel entstand. Die Steife des hergestellten Mörtels wurde auf einem Rütteltisch nach DIN 1164 § 15 bei jeder Mischung überprüft. Die zugegebene Wassermenge schwankte infolge kleiner Abweichungen im Feuchtigkeitsgehalt des Sandes geringfügig. Im allgemeinen wurde jeweils für vier Putzflächen eine Mischung angesetzt.

Mit dem "kellengerechten" Mörtel stellte der Handwerker die Putzflächen her. Der Arbeitsgang war dabei folgender: Auf einem glatten Estrich wurde zunächst eine Lage Ölpapier und darauf eine Lage dickes Filterpapier ausgebreitet. Auf das Filterpapier legte der Handwerker den Holzrahmen und füllte den Putzmörtel in zwei Lagen ein, - die erste bis zur Drahteinlage, die zweite bis zur Oberkante des Holzrahmens. Darauf verdichtete er den Putzmörtel mit einigen Stößen der Kelle und rieb die Oberfläche nach dem Anziehen ab.

Durch das Filterpapier wurde dem frischen Putzmörtel ein Teil des Anmachewassers entzogen. Dadurch war es möglich, den Verhältnissen der Praxis, wo dem frisch angeworfenen Mörtel auch Wasser und Bindemittel durch den Putzgrund entzogen werden, sehr nahe zu kommen. Vor der ersten Beregnung der Putzflächen wurde das Filterpapier mit einem Spachtel vorsichtig entfernt.

Der Anstrich mit einem Mittel auf Silicon-Basis wurde bei den dafür vorgesehenen Putzflächen im allgemeinen etwa 3 Wochen nach der Herstellung aufgebracht. Entsprechend der Gebrauchsanweisung der Herstellerfirma wurde das Mittel im Verhältnis 1 : 1 n. Rtl. mit Wasser verdünnt. Der Verbrauch für je 4 Putzflächen (etwa 1 m<sup>2</sup>) betrug im Durchschnitt etwa 100 cm<sup>3</sup> des unverdünnten Mittels.

Da sich bei den ersten Regenversuchen zeigte, daß der 1 : 1 verdünnte Silicon-Anstrich bei den Kalkzement- und Weißkalkputzen keine Wirkung hatte, wurde das Mittel bei den später imprägnierten Putzen konzentriert aufgebracht. Diese Putzflächen sind in den Zahlentafeln des Anhanges besonders bezeichnet.

### 3.223 Die Lagerung der Putzflächen vor und zwischen den Regenversuchen

In der ersten Woche nach der Herstellung wurden die Putzproben etwa eine Woche lang flach liegend aufbewahrt, um danach hochkant aufgestellt zu werden. Bis zur dritten Beregnung standen die Putzflächen windgeschützt unter einem Dach im Freien.

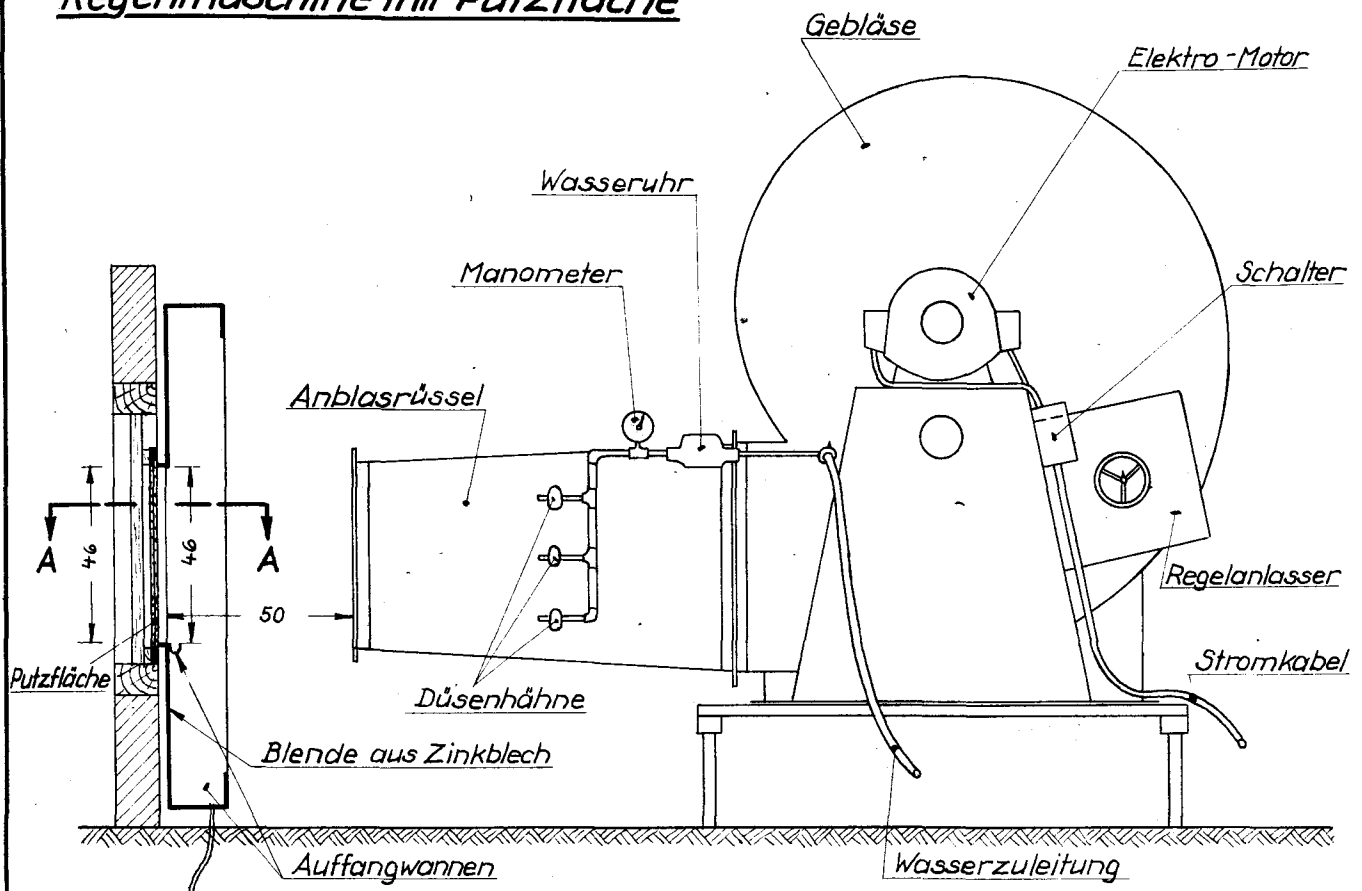
Etwa ein halbes Jahr vor der vierten Beregnung wurden die Putzflächen klimatisiert. Dabei lagerte die eine Hälfte der Versuchskörper in einem Raum von etwa 20°C und 85 % rel. Luftfeuchtigkeit, die andere Hälfte bei 25°C und etwa 40 % relativer Luftfeuchtigkeit.

Einzelne Putzproben waren im Laufe der Zeit gerissen. Diese Versuchskörper wurden jedoch nicht aussortiert, sondern ebenso wie die anderen Proben den Beregnungen unterzogen. Dadurch war es möglich, auch den Einfluß der Rissebildung auf das Verhalten der Putze zu erfassen. Bei der Auswertung wurden diese Proben in der Mittelbildung jedoch nicht berücksichtigt. Die gerissenen Proben sind in den Zahlentafeln der Anlagen gekennzeichnet.

### 3.23 Versuchsanordnung

Die gesamte Versuchsanordnung ist aus den Abb. 8 bis 10 zu ersehen. Die für die Versuche erforderliche Schlagregenbeanspruchung wurde mit einer im Institut für Baustoffkunde und Materialprüfung der TH Braunschweig vorhandenen "Regenmaschine" erzeugt. Diese Maschine besteht im wesentlichen aus einem starken Gebläse und einem Anblasrüssel. Das Gebläse wird durch einen Elektromotor angetrieben. Im Anblasrüssel sind Pralldüsen angeordnet. Aus diesen Pralldüsen tritt fein verteiltes Wasser aus, das durch den vorbeistreichenden Wind auf die vor der Regenmaschine aufgestellte Putzprobe geschleudert wird. Die Innenmaße des Anblasrüssels betragen 50 x 50 cm.

**Abb. 8 Versuchsanordnung  
Regenmaschine mit Putzfläche**



**Schnitt A-A M. 1:5  
Befestigung der Putzflächen**

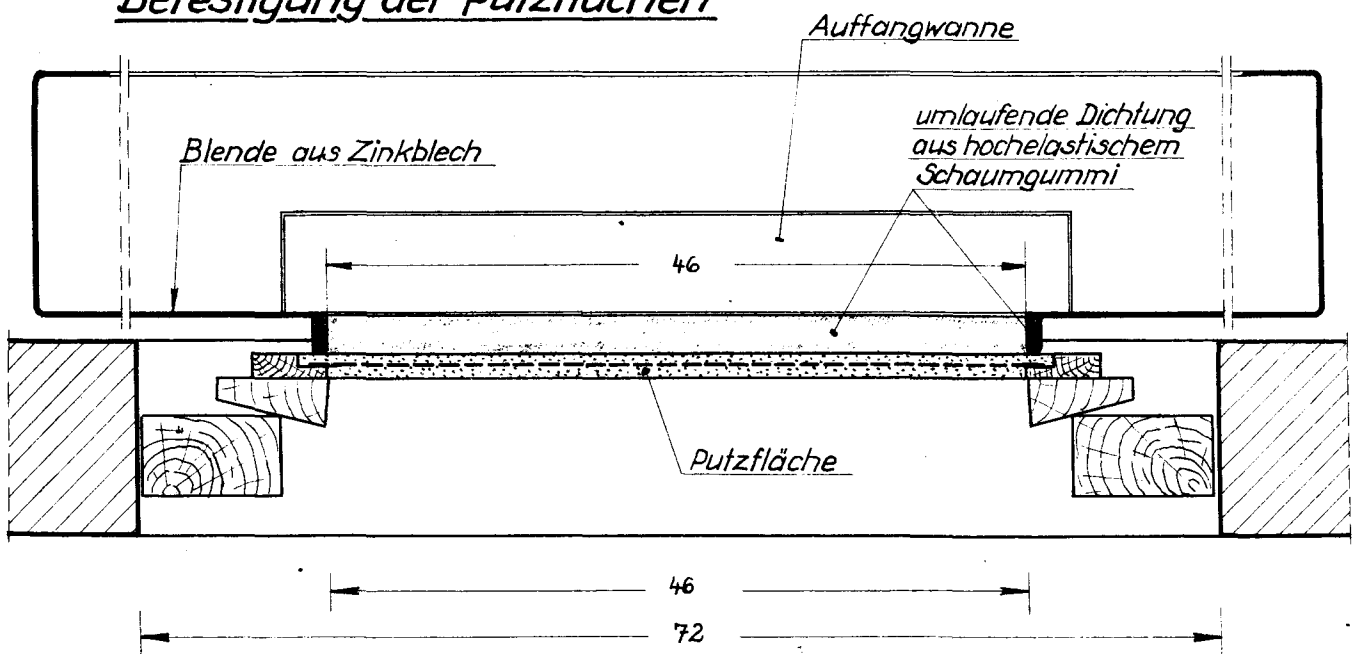


Abb. 9 Regenmaschine mit Putzprobe

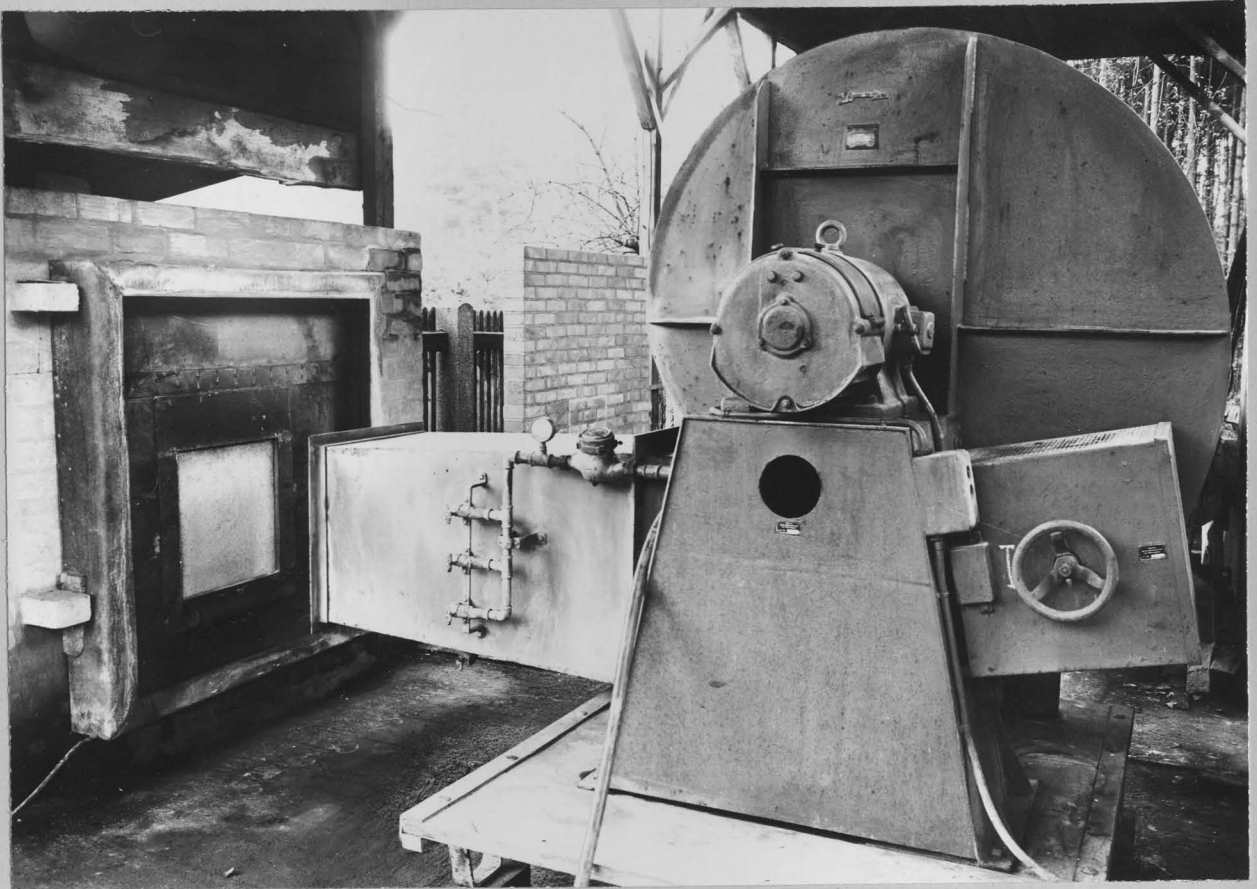
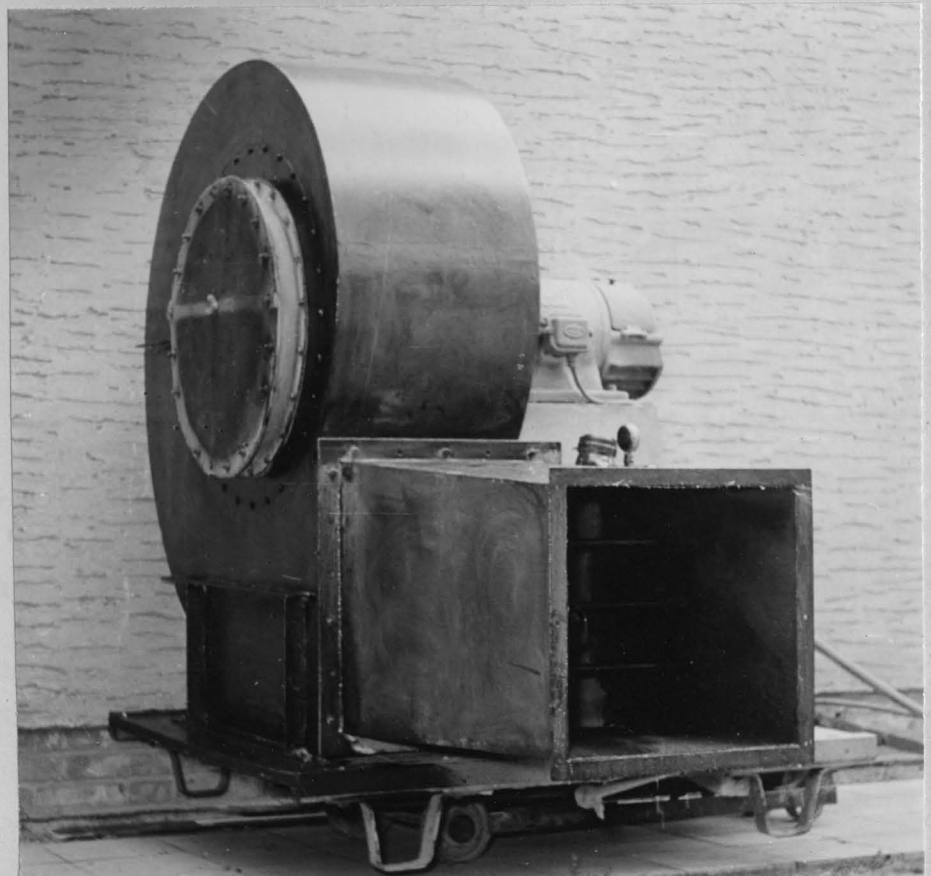


Abb. 10  
Regenmaschine



Der Elektromotor des Gebläses kann mit Hilfe eines Regelanlassers auf verschiedene Drehzahlen eingestellt werden. Die Geschwindigkeit des von der Maschine erzeugten Windes ändert sich mit der Drehzahl des Motors.

Die Regenmenge wird durch ein Ventil in der Wasserzuleitung reguliert. Eine Wasseruhr ermöglicht die ständige Kontrolle der Regenmenge. Der Druck in der Wasserleitung kann an einem Manometer abgelesen werden.

Während der Untersuchung auf Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen ist die zu prüfende Putzfläche 50 cm vor der Austrittsöffnung des Anblasrüssels dem Schlagregen ausgesetzt. Dazu wird die Putzfläche in die etwa 70 x 70 cm grosse Öffnung einer  $\frac{1}{2}$  Stein dicken Wand eingebaut und durch vorsichtig angetriebene flache Holzkeile festgehalten. Vor der Wand ist eine Blende aus Zinkblech mit einer lichten Öffnung von 46 x 46 cm angeordnet. Die Putzfläche steht genau hinter dieser Blendenöffnung. Ein hochelastischer Profilgummistreifen dichtet die Blende gegen die Putzfläche ab, damit das Regenwasser nur auf den Putz trifft und nicht in den Holzrahmen der Putzfläche eindringen kann.

An der Blende sind zwei Abflußrinnen angebracht, die zum Auffangen des ablaufenden Regenwassers dienen. Die kleinere der beiden Rinnen ist unmittelbar unter der Blendenöffnung angeordnet. In ihr sammelt sich das von der Putzfläche ablaufende Wasser. In der zweiten Rinne wird das Wasser aufgefangen, was neben der Putzfläche auf die Blende trifft. Durch Messen der Wassermengen, die von den Abflußrinnen aufgefangen werden, läßt sich die in der Zeiteinheit auf die Putzfläche auftreffende Wassermenge annähernd bestimmen.

### 3.24 Versuchsdurchführung

Während der Schlagregenversuche wurde das Gebläse der Regenmaschine so eingestellt, daß die mittlere Windgeschwindigkeit,



in 50 cm Abstand vor dem Anblasrüssel bei nicht eingespanntem Prüfstück gemessen, etwa 18 m/sec betrug. Diese Windgeschwindigkeit entspricht einem mittleren Staudruck von  $20,1 \text{ mm WS} = 20,1 \text{ kg/m}^2$  und einer Windstärke 8 nach Beaufort.

Von einer größeren Windbeanspruchung, wie z.B. bei den Versuchen von Bröcker wurde abgesehen, weil sonst die Gefahr bestand, daß die verhältnismäßig dünnen Putze in Schwingungen gerieten. Dadurch wären an den Putzflächen möglicherweise Beschädigungen entstanden. Die gewählte Beanspruchung ist aber größer als der von Bröcker (4) angegebene Grenzwert für "schweren Schlagregen" (vergl. S. 17).

Aus den Pralldüsen trat während der Versuche eine mittlere Wassermenge von 0,4 bis 0,5 Liter pro Minute aus. Ungefähr die Hälfte dieser Wassermenge gelangte tatsächlich auf die Putzfläche, während der Rest auf der Blende ablief bzw. in die Umgebung versprüht wurde. Die auf die Flächeneinheit in der Zeiteinheit auftreffende Regenmenge  $Q$  betrug somit etwa:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,45}{F} = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,45}{0,46 \cdot 0,46} = 1,06 \sim 1 \frac{1}{\text{m}^2 \cdot \text{Min}}$$

$F$  = Größe der dem Regen ausgesetzten Putzfläche  $\text{m}^2$

Diese Regenmenge war groß genug, um auf allen Putzflächen, also auch auf den gut saugenden, während der Beregnungen einen "kontinuierlichen Wasserfilm" zu erzeugen.

Die Durchmesser der einzelnen Wassertropfen betrugen etwa 0,2 bis 0,5 mm. Die Wassertemperaturen des Regens schwankte je nach Jahreszeit und Sonneneinstrahlung zwischen  $11^\circ$  und  $18^\circ\text{C}$ . Meistens lag sie bei etwa  $13^\circ\text{C}$ .

In Zahlentafel 6 sind die Beanspruchungsgrößen bei den Schlagregenversuchen zusammengestellt:



Zahlentafel 6

Beanspruchungen bei den Schlagregenversuchen

Windgeschwindigkeit (Mittel)	18 m/sec
Staudruck des Windes	20,1 mm WS
Windstärke (nach Beaufort)	8
Regenmenge	$1 \frac{\ell}{m^2 \cdot \text{Min}}$
Wassertemperatur	11° bis 18°C
Auftreffwinkel des Regens	ca. 90°
Durchmesser der Regentropfen	0,2 bis 0,5 mm

Die Bestimmung der Widerstandsfähigkeit gegen schweren Schlagregen wurde bei den einzelnen Putzflächen in folgender Reihenfolge vorgenommen:

1. Wiegen der Putzfläche vor der Beregnung
2. Beregnung; Bestimmung der Durchfeuchtungszeit T
3. Wiegen der Putzfläche nach der Beregnung

Im folgenden wird unter der **D u r c h f e u c h t u n g s - z e i t T** die Zeit verstanden, die vom Beginn der Beregnung bis zu dem Augenblick vergeht, in dem ein Viertel der Rückseite der Putzprobe durchfeuchtet ist. Die Durchfeuchtung ist an einer deutlichen Dunkelfärbung zu erkennen.

In Vorversuchen hatte sich ergeben, daß sowohl die Feststellung der ersten Durchfeuchtung als auch das Abwarten bis zur vollständigen Durchfeuchtung der Putzrückseiten für die praktische Auswertung der Versuche keine geeigneten Meßgrößen ergaben. Die erste punktförmige Durchfeuchtung tritt häufig an einer einzelnen Fehlstelle auf. Sie ist daher kein Maßstab für das allgemeine Verhalten des Putzes. Auch die vollständige (100 %ige) Durchfeuchtung auf der Putzrückseite ergibt kein zutreffendes Bild, da die Wasseroberfläche im Putz während der Beregnung keine

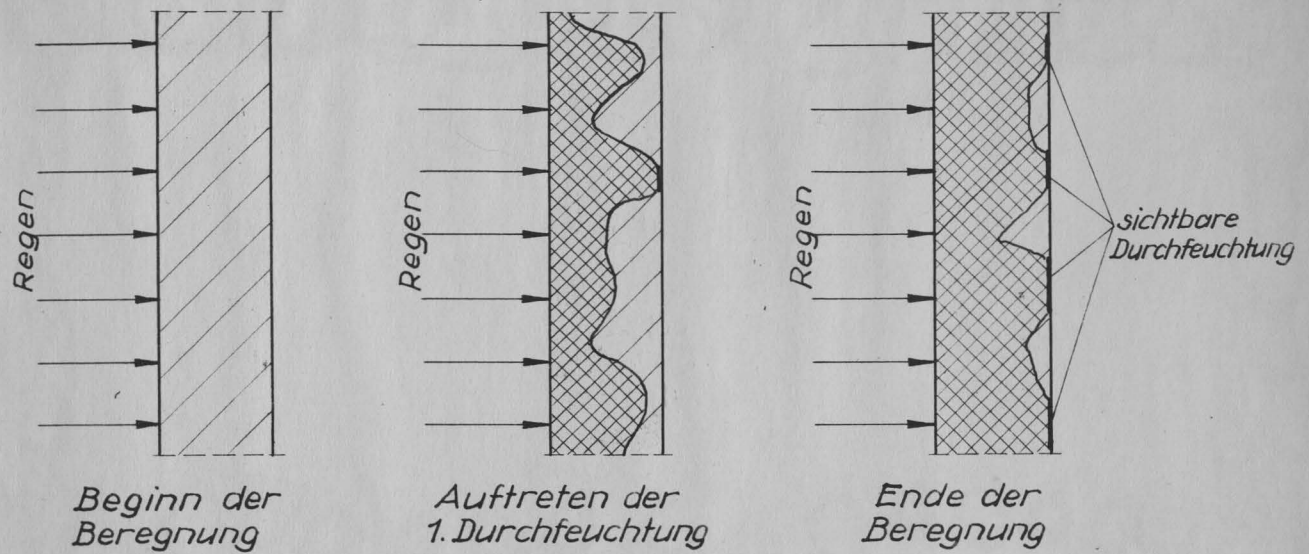


Abb. 11 Feuchtigkeitsdurchgang durch eine Putzfläche bei Schlagregenbeanspruchung (schematisch)

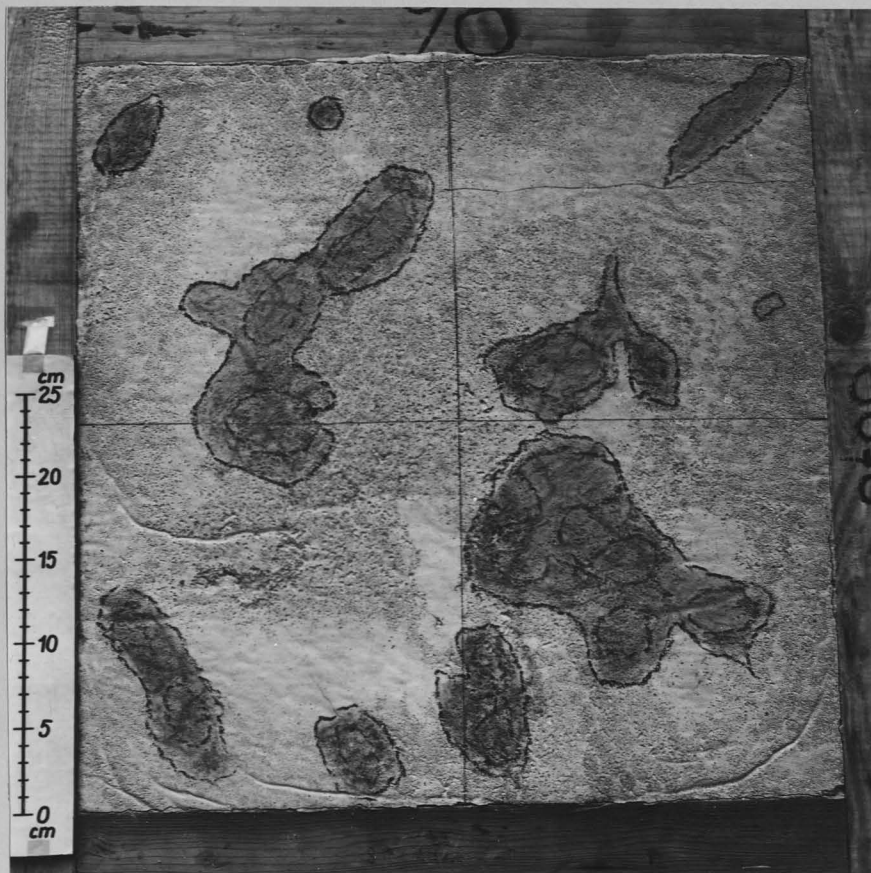


Abb. 12 Durchfeuchtete Putzfläche

Ebene sondern eine unregelmäßige Fläche ist (vergl. Abb.11 Seite 27).

Die vollständige Durchfeuchtung ist daher kein Maß für das m i t t l e r e Fortschreiten des Wassers.

Aus diesen Gründen wurde als Durchfeuchtungszeit die o.a. Definition gewählt. Das Ausmessen der durchfeuchteten Fläche auf den Rückseiten der Putzproben erfolgte mit Hilfe eines aufgezeichneten Rasters. Aus der Abb. 12 ist ein typisches Durchfeuchtungsbild eines Putzes zu erkennen.


Durch die Wägungen vor und nach den Beregnungen wurde die Wasseraufnahme A der Putzflächen während der Prüfzeit ermittelt. Leider war es nicht möglich, das Trockengewicht (Trocknung bei 105°C) der Putzflächen vor der Beregnung festzustellen, weil eine scharfe Trocknung zu Rissen in den Putzflächen und damit zu einer Verfälschung der Versuchsergebnisse geführt hätte. Deswegen wurde die Wasseraufnahme der Putzflächen in Gew.-% auf die nach Abschluß aller Untersuchungen ermittelten Trockengewichte der Putze (ohne Holzrahmen) bezogen. Bei der Beurteilung der auf diese Art ermittelten Wasseraufnahmen muß berücksichtigt werden, daß das Trockengewicht eines Teiles der Putze infolge der Karbonisation des Kalkes im Laufe der 2½ Versuchsjahre je nach Putzart bis zu 4,5 % zugenommen hat.

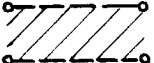
### 3.25 Versuchsergebnisse

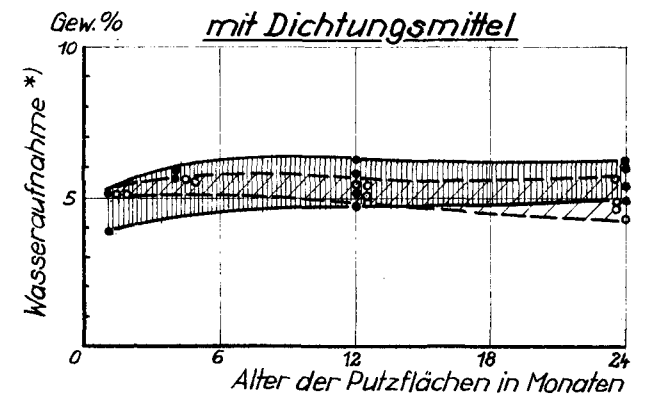
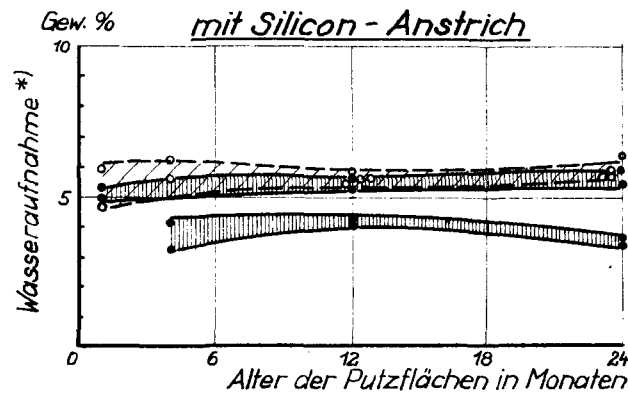
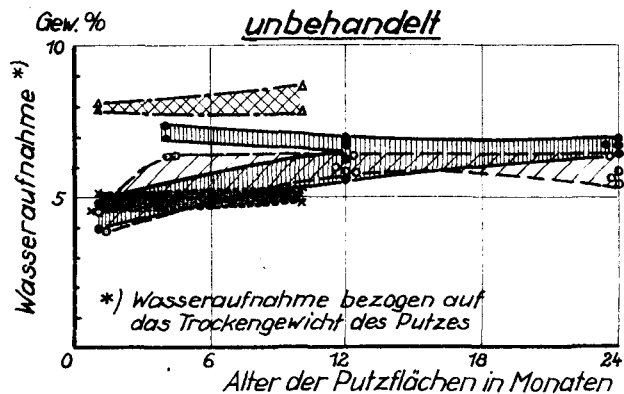
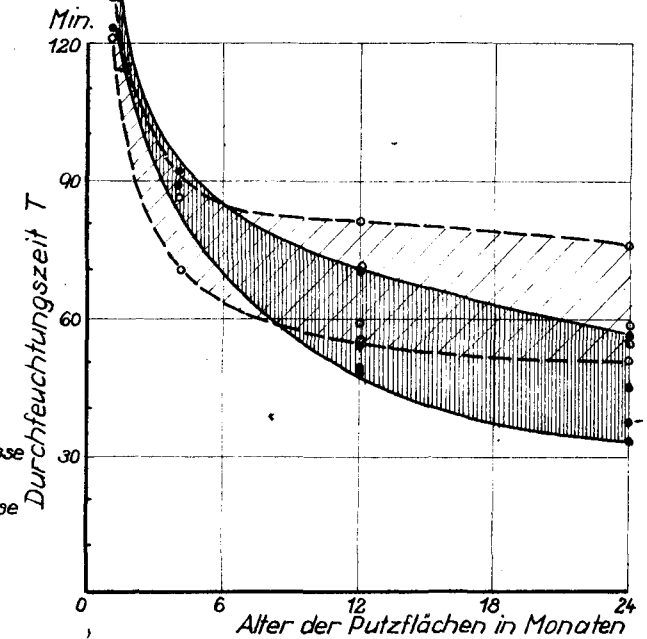
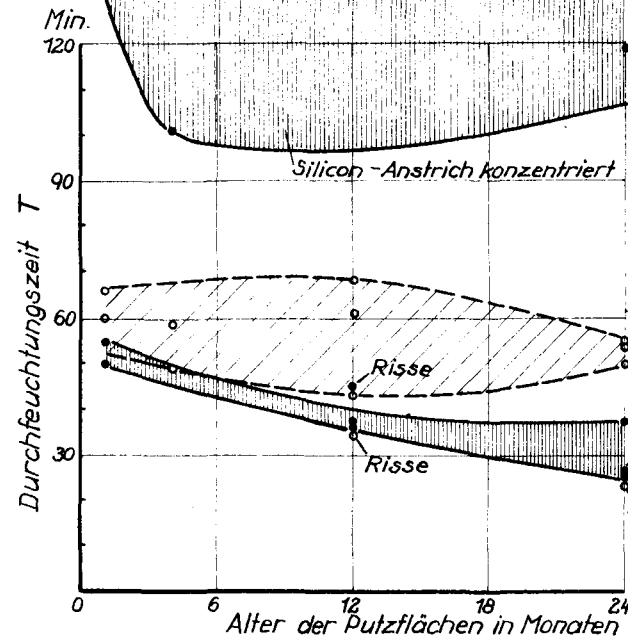
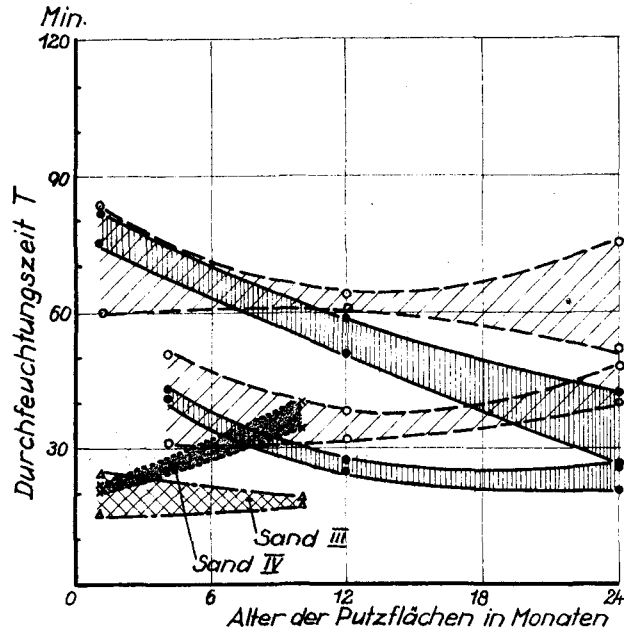
Die Ergebnisse der Schlagregenversuche sind in den Abb.13 bis 17 graphisch aufgetragen. Die ausführlichen Zahlenwerte sind in Anlage 2 zusammengestellt.

In den Abb. 13 bis 17 sind die Durchfeuchtungszeiten T und die auf das Trockengewicht der Putze bezogene Wasseraufnahme A der Putzflächen bei den verschiedenen Beregnungen in Abhängigkeit vom Alter der Putzflächen aufgetragen. Die Einzelmessungen sind als Punkte gekennzeichnet. Die schraf-

**Abb. 13** Ergebnisse der Schlagregenversuche  
Durchfeuchtungszeiten und Wasseraufnahme der  
Kalkzementputze  
MV 1:2:8 n.Rtl.

 Sand I (fein)

 Sand II (grob)



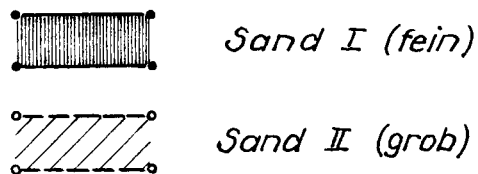
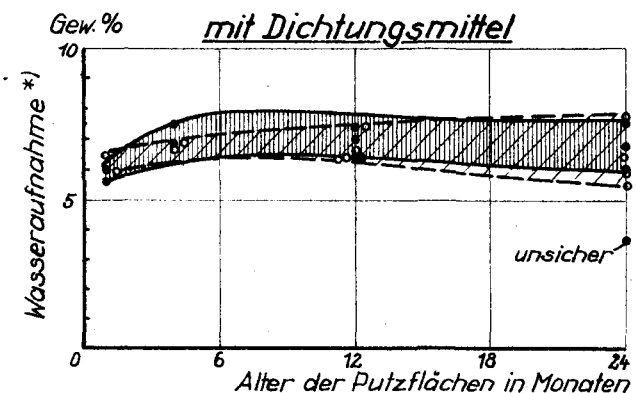
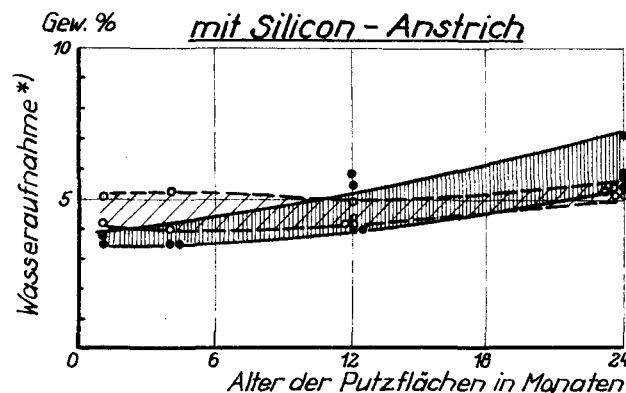
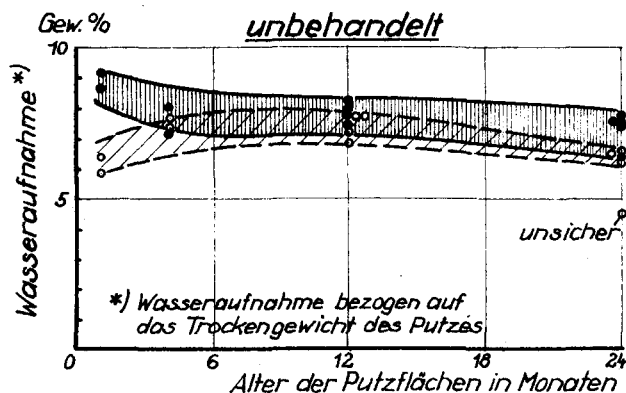
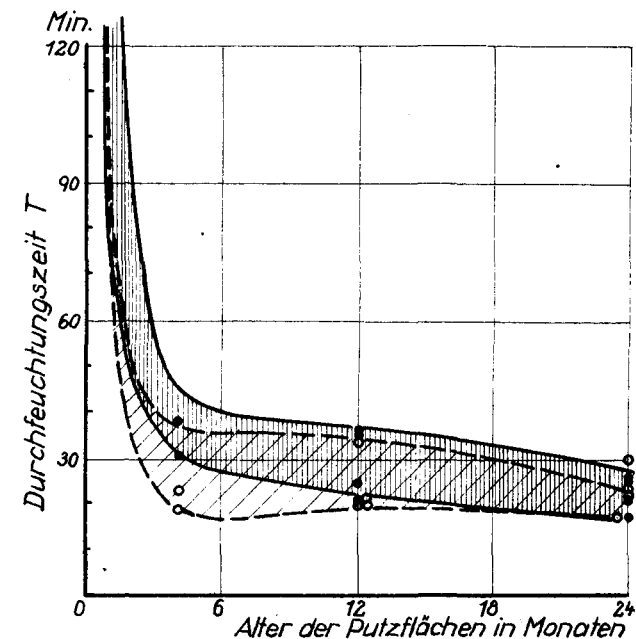
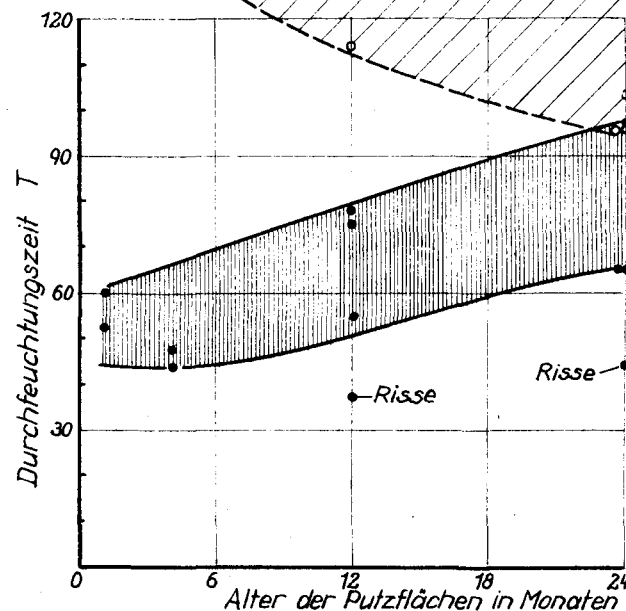
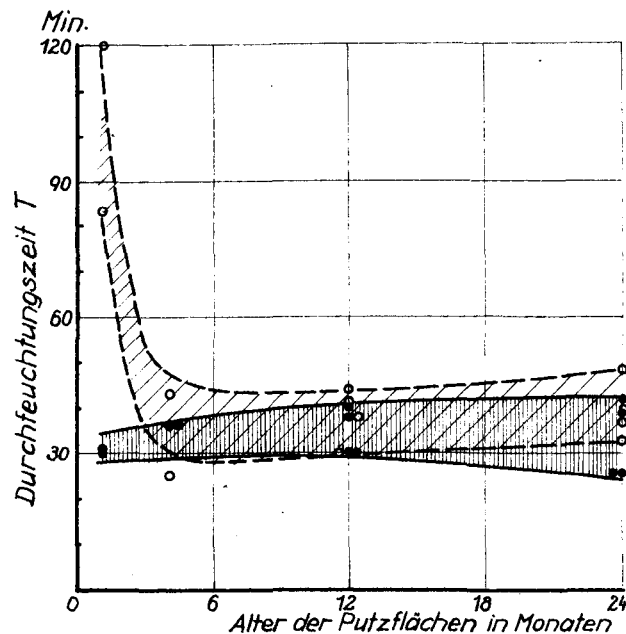
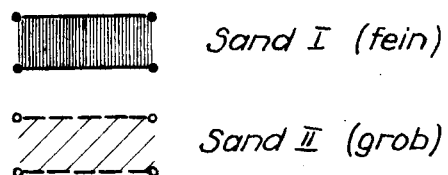


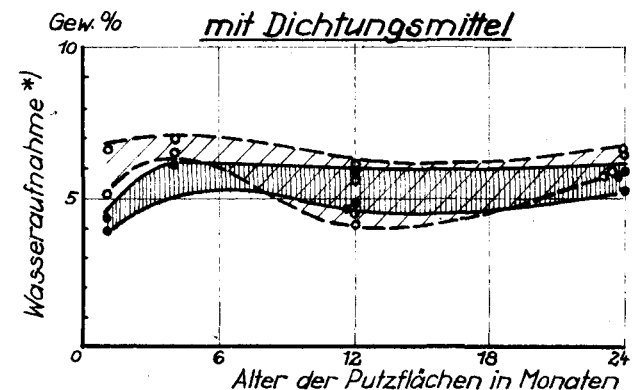
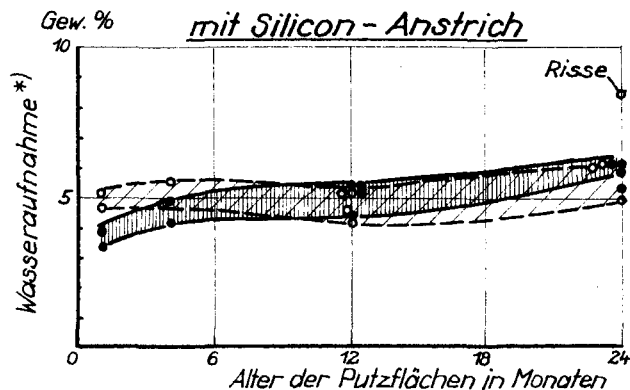
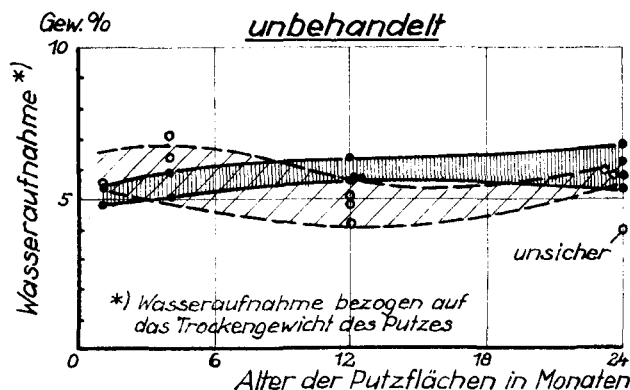
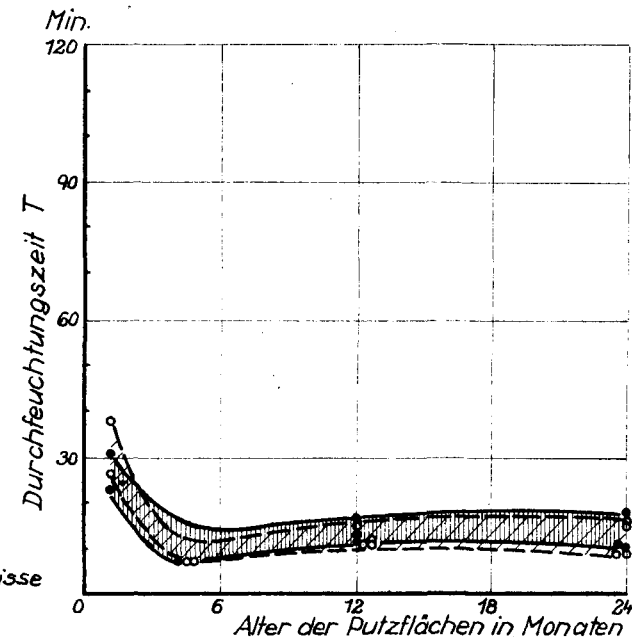
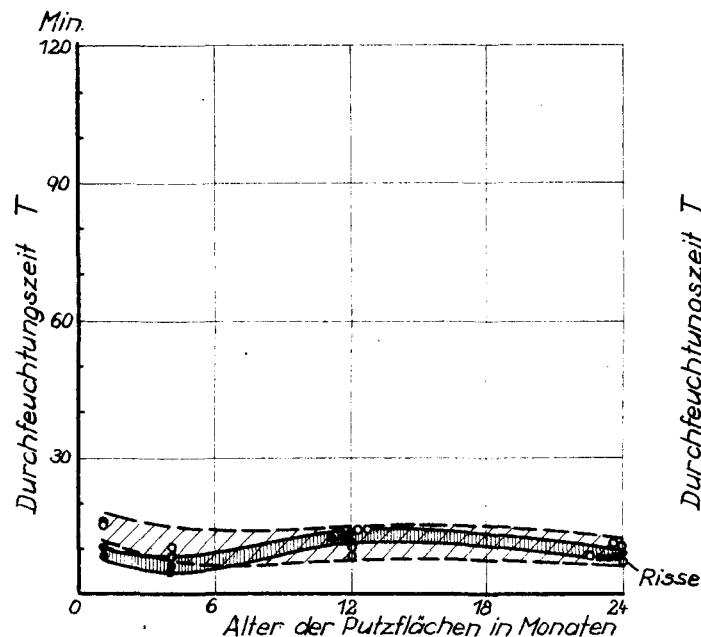
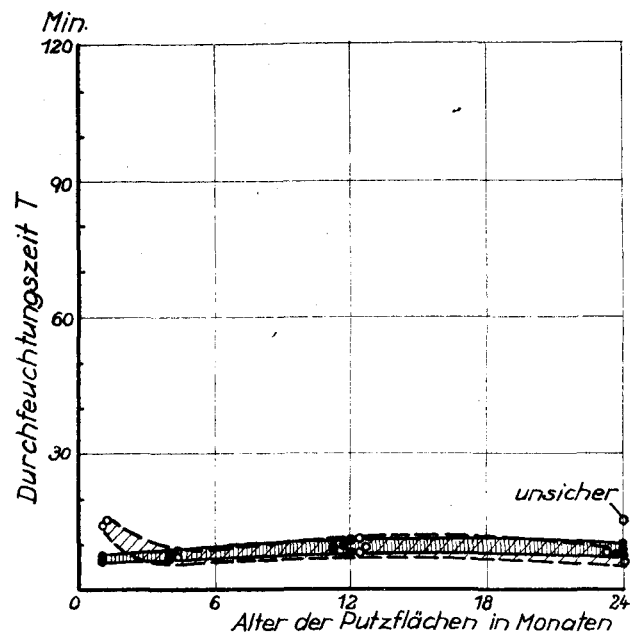
Abb. 14 Ergebnisse der Schlagregenversuche  
Durchfeuchtungszeiten und Wasseraufnahme der  
hochhydraulischen Kalkputze  
 MV 1:3 n. Rtl.

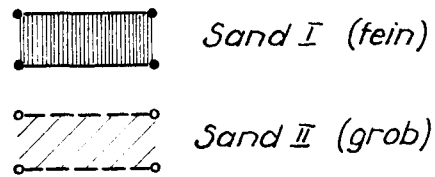


\*) Wasseraufnahme bezogen auf  
 das Trockengewicht des Putzes

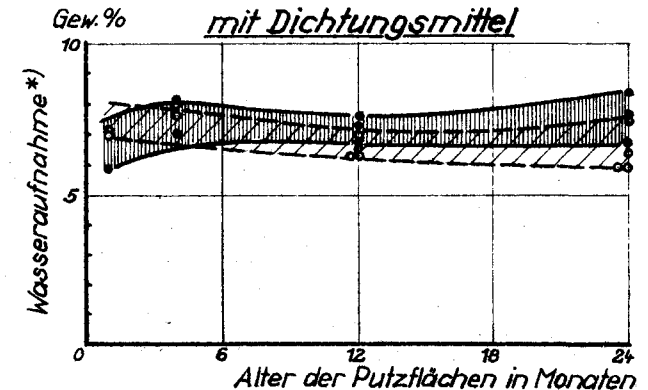
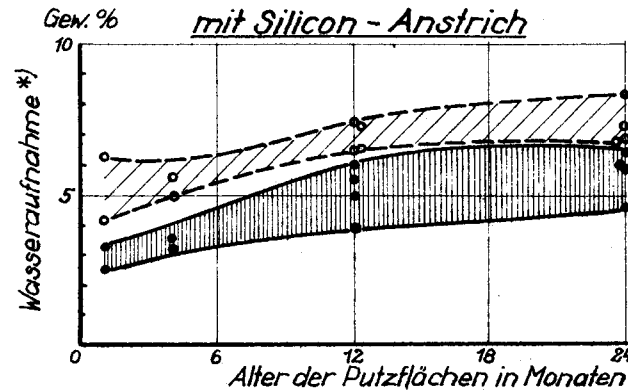
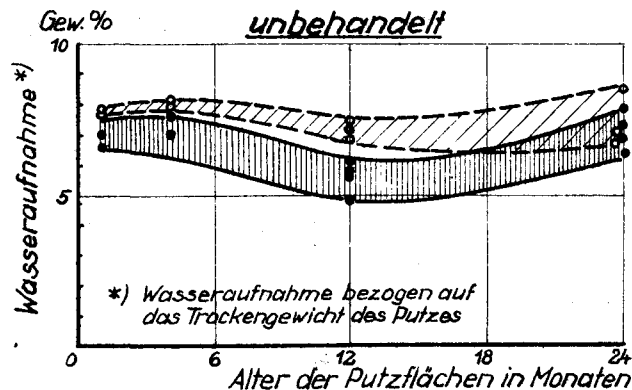
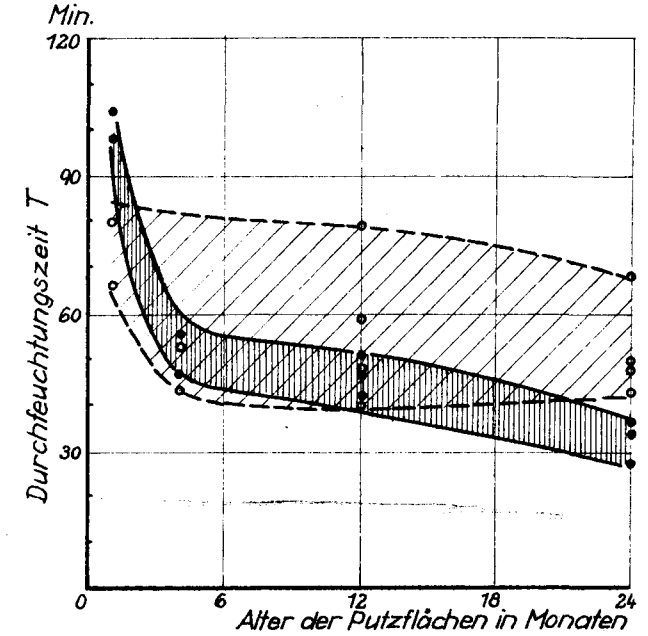
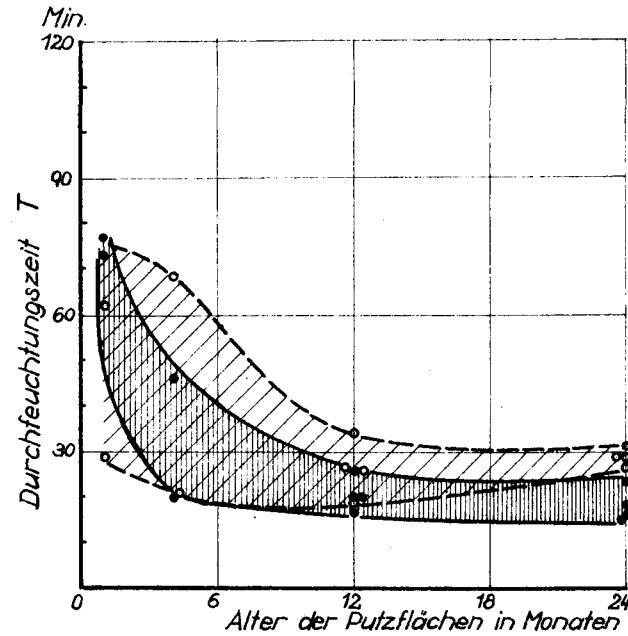
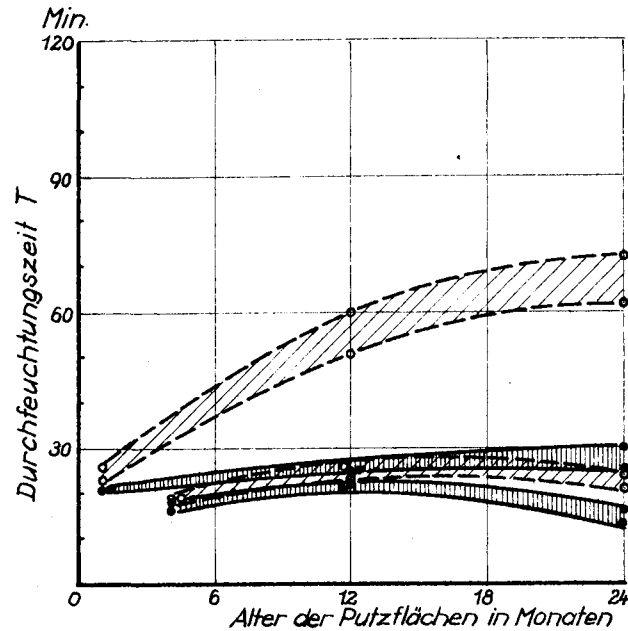


**Abb. 15** Ergebnisse der Schlagregenversuche  
 Durchfeuchtungszeiten und Wasseraufnahme der  
 Weißkalkputze  
 MV 1:3 n. Rtl.





**Abb. 16** Ergebnisse der Schlagregenversuche  
 Durchfeuchtungszeiten und Wasseraufnahme der  
 zweilagigen Putze  
 Unterputz: KZ 1:2:8 n.Rtl.; Oberputz: WK 1:3 n.Rtl.



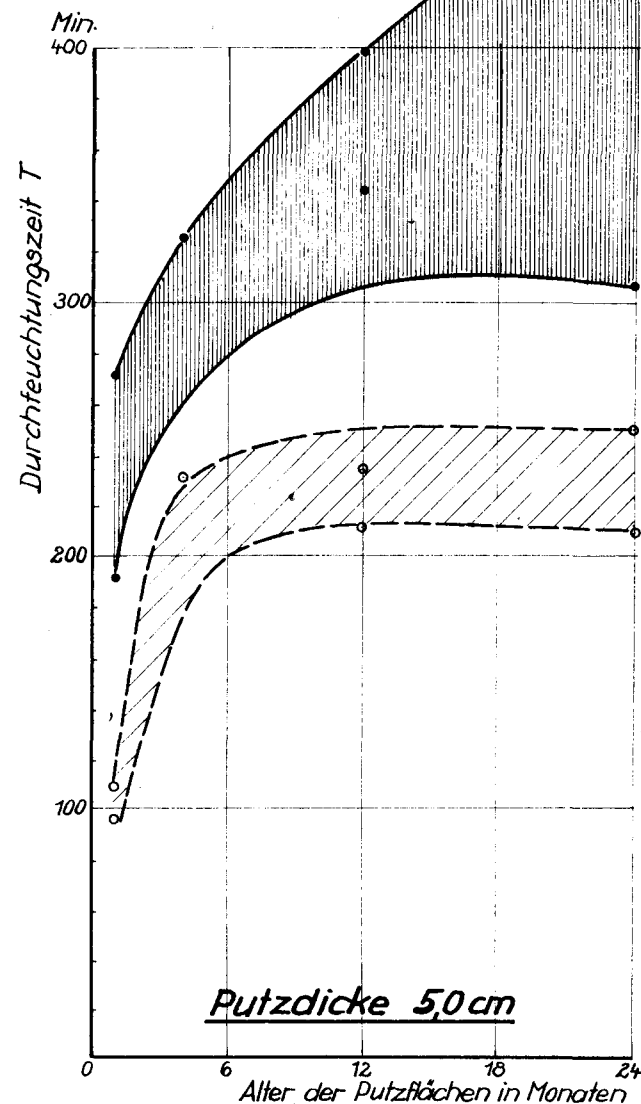
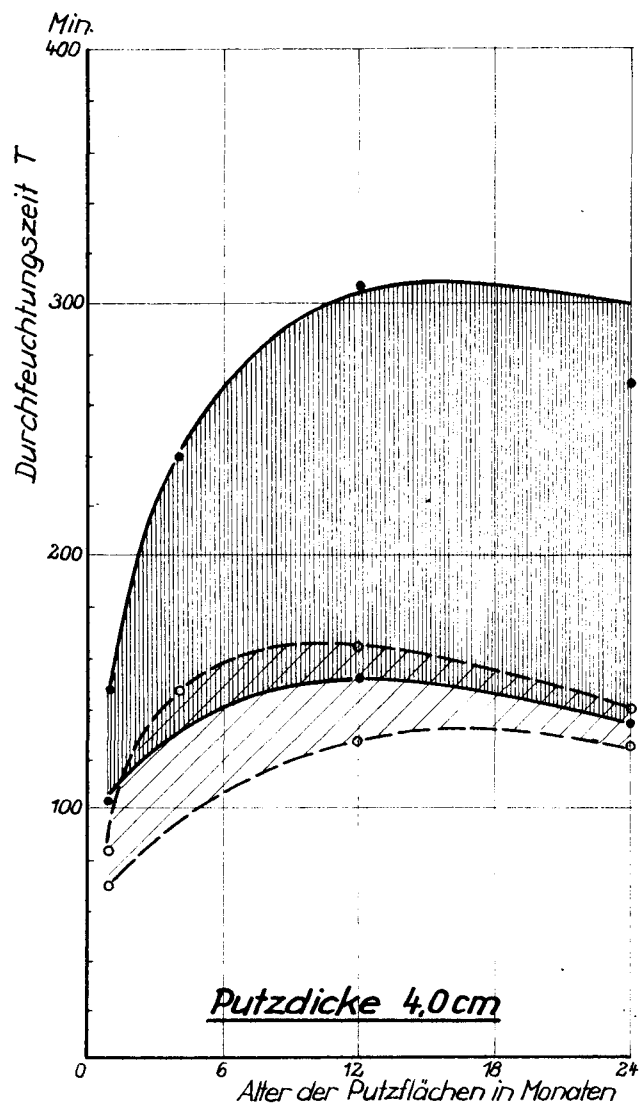
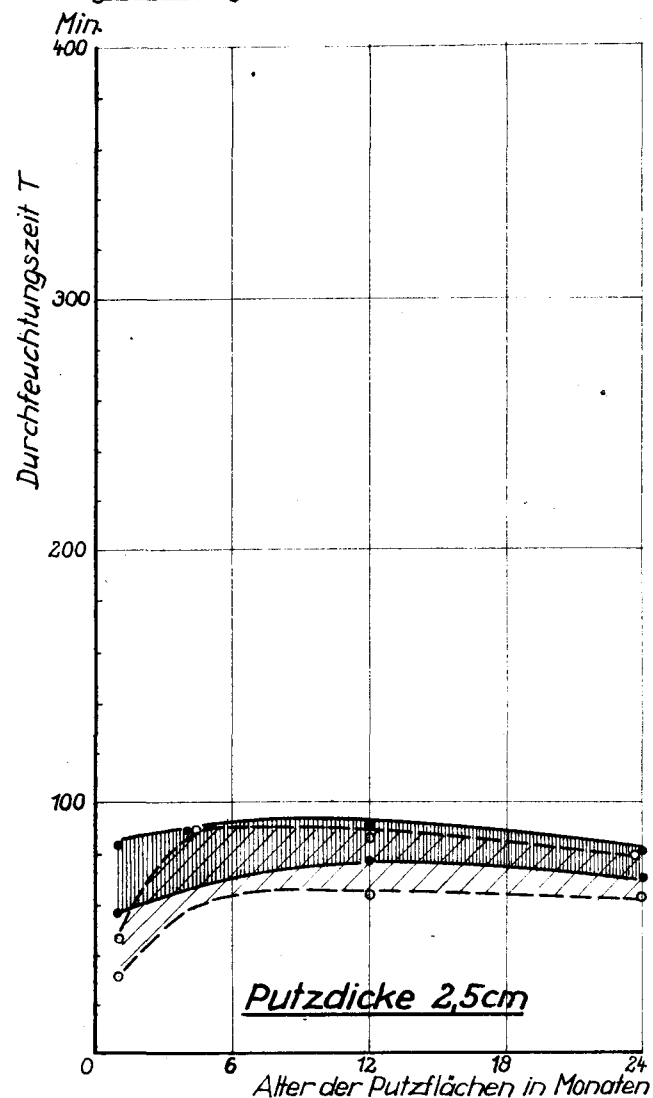


Sand I (fein)



Sand II (grob)

**Abb. 17** Ergebnisse der Schlagregenversuche  
Durchfeuchtungszeiten von Kalkzementputzen  
in Abhängigkeit von der Dicke der Putzproben





fierten Flächen geben die Bereiche an, in denen die Ergebnisse streuen.

Für die Zementputze sind keine Kurven gezeichnet. Schon bei der ersten Beregnung hatte sich gezeigt, daß die Durchfeuchtungszeiten  $T$  der Zementputze um mehrere Größenordnungen höher lagen als bei allen anderen Putzen. Selbst nach einwöchiger Beregnung trat bei den Zementputzen noch keine Durchfeuchtung auf. Aus diesem Grunde wurde darauf verzichtet, sämtliche 32 mit Zement gebundenen Putzflächen zu beregnen. Es wurden statt dessen bei jeder Beregnung nur 2 Zementputze erfaßt.

### 3.26 Auswertung der Versuchsergebnisse

#### 3.261 Allgemeines

Wie zu erwarten war, haben die Versuche ergeben, daß die Durchfeuchtungszeiten nicht bei allen Putzen gleich sind. In den folgenden Abschnitten werden die Hauptursachen des unterschiedlichen Verhaltens der einzelnen Putzarten beschrieben. Auf die Versuchsergebnisse wirkten sich nicht nur die verschiedenen Eigenschaften der Putze selbst - wie Kornzusammensetzung, Bindemittel, Dichtungs- bzw. Anstrichmittel und die Putzdicke aus. Auch die geringen Schwankungen in den Versuchsbedingungen, wie Wassertemperatur des Regens, Eigenfeuchtigkeit der Putzflächen beeinflussten die Ergebnisse der verschiedenen Beregnungen. Die Bedeutung dieser Einflüsse darf vor allem im Hinblick auf die Streuungen der Versuchsergebnisse an gleichen Putzarten nicht unterschätzt werden.

Bei der Fortbewegung des Regenwassers in den Putzen spielen die Kapillarkräfte eine wesentliche Rolle. Obwohl nicht erwartet werden kann, daß die Putze strengen physikalischen Gesetzen folgen, geben diese Gesetze einen guten Überblick über die groben Zusammenhänge:

Die Wasserbewegung in Rohren mit kreisförmigem Querschnitt wird durch das Gesetz von H a g e n - P o i s e u i l l e erfaßt. Unter Vernachlässigung des Eintretwiderstandes hat dieses Gesetz für den Sonderfall des horizontalen Rohres folgende Form:

$$dM = \frac{r^4 \pi (p_1 - p_2)}{8 \cdot \eta \cdot l} \cdot dt \quad (1)$$

M = Wassermenge, die in der Zeit t durch ein Rohr von der Länge l fließt

l = Länge des Rohres

p<sub>1</sub> und p<sub>2</sub> = Drücke an den Rohrenden

η = Zähigkeit des Wassers

Dünne Rohre, sogenannte Kapillaren, haben bekanntlich die Eigenschaft, daß Flüssigkeiten in ihnen bis zu einer gewissen Höhe steigen. Diese Erscheinung wird durch die zwischen Flüssigkeit und Kapillarwandung wirkenden Oberflächenspannungen σ (kg/m) verursacht. Die entlang der Wandung einer Kapillare von kreisförmigem Radius r wirkenden Oberflächenspannungen können zu einer Resultierenden S zusammengefaßt werden.

$$S = 2 r \pi \cdot \sigma \quad (2)$$

Die "kapillare Steighöhe" H ergibt sich durch Gleichsetzen dieser Resultierenden S mit dem Gewicht G der angesaugten Wassersäule.

$$\begin{aligned} S &= G \\ 2 \cdot r \pi \cdot \sigma &= H \cdot r^2 \cdot \pi \cdot \gamma \\ H &= \frac{2 \cdot \sigma}{r \cdot \gamma} \end{aligned} \quad (3)$$

γ = spez. Gewicht der Flüssigkeit; Wasser ~ 1 kg/m<sup>3</sup>

In Zahlentafel 7 sind die maximale Steighöhe H, die Zeit t, die verstreicht bis der Meniskus um 1 cm gestiegen ist und die Geschwindigkeit der Spiegelhebung in diesem Augenblick nach Haller (7) zusammengestellt. Die Werte sind für eine Wassertemperatur von 20°C ermittelt worden.

Zahlentafel 7

Wasserbewegung in Kapillaren nach Haller (7)

Kapillarradius mm	1 mm	0,01 mm	0,0001 mm
max. Steighöhe H	1,49 cm	1,49 m	149 m
Steigzeit t für h = 1 cm	0,003 sec	0,3 sec	30 sec
Steiggeschwindigkeit v für h = 1 cm	(172 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ )	1,72 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$	0,0172 $\frac{\text{cm}}{\text{sec}}$

Wird die Resultierende S auf den Querschnitt der Kapillaren bezogen, so ergibt sich ein "Kapillardruck" von folgender Größe:

$$s = \frac{S}{F} = \frac{2 \cdot r \cdot \pi \cdot \sigma}{r^2 \cdot \pi} = \frac{2 \cdot \sigma}{r} \quad (4)$$

Durch Einsetzen von (Gl 4) in (Gl 1) ergibt sich nach verschiedenen Umformungen nachfolgende Beziehung für den zeitlichen Verlauf der Wasserspiegelwanderung in einer Kapillare:

$$l^2 = \frac{r \cdot \sigma}{2 \cdot \eta} \cdot t \quad (5)$$

oder umgekehrt die Zeit, in der der Wasserspiegel die Kapillare von der Länge l durchschreitet

$$t = \frac{2 \cdot \eta}{r \cdot \sigma} \cdot l^2 \quad (6)$$

Nach Haller (7) gilt Gleichung 5 nicht nur für horizontale Kapillaren sondern mit genügender Genauigkeit auch für schräge und lotrechte Kapillaren.

Bei den untersuchten Putzen liegt kein Kapillarsystem einfacher Art, etwa in Form von nebeneinander liegenden kreisförmigen Kapillaren vor. Gleichung 6 muß daher noch durch einen Formfaktor K ergänzt werden, der von dem inneren Aufbau der Putze abhängig ist. Es ergibt sich dann für die Durchfeuchtungszeit T von Putzflächen der Dicke d unter Vernachlässigung des Staudruckes des Windes folgende Beziehung:

$$T = K \cdot \frac{2 \cdot \eta}{r \cdot \sigma} \cdot d^2 \quad (7)$$

Aus Gleichung 7 ist zu ersehen, daß die Durchfeuchtungszeit  $T$  theoretisch proportional der Zähigkeit des Wassers und dem Quadrat der Putzdicke ist. Sie ist umgekehrt proportional dem mittleren Kapillarradius und der Oberflächenspannung des Wassers.

### 3.262 Die "Alterung" der Putze

Aus den Abb. 16 bis 20 ist zu entnehmen, daß bei den meisten Putzarten im Laufe der Zeit ein Abfall in der schlagregenhemmenden Wirkung eintrat.

Es ist anzunehmen, daß das Absinken der schlagregenhemmenden Eigenschaften der Putze verschiedene Ursachen hat. In erster Linie dürfte das Schwinden der Putze während der Austrocknung und des Hydrationsvorganges von Bedeutung sein. Nach Spruck (8) erreicht das Schwinden bei den meisten Mörteln etwa 2 bis 4 Monate nach der Herstellung seine größten Werte. Daher kann der Schwindvorgang zum Zeitpunkt der zweiten Berechnung, etwa 4 Monate nach der Herstellung der Proben bei allen Putzarten als im wesentlichen abgeschlossen angesehen werden. Bei der ersten Berechnung (vier Wochen nach der Herstellung) war das Schwinden dagegen nur bei einigen Putzarten, z.B. den Kalkputzen und den Putzen aus Sand I, beendet. Diese Putze zeigen zwischen der ersten und der zweiten Berechnung keinen so starken Abfall in der Dichtigkeit.

Wie wirkt sich nun der Einfluß des Schwindens aus? Nach Gleichung 7:

$$T = K \cdot \frac{2 \cdot \eta}{r \cdot \sigma} \cdot d^2$$

ist die Durchfeuchtungszeit  $T$  eines Putzes umgekehrt proportional dem mittleren Kapillarradius. Deshalb tritt die Durchfeuchtung schneller ein, wenn sich infolge des "Arbeitens" im Putz mehrere feine Kapillaren zu einer groben

Kapillaren vereinigen. Dadurch wird zwar das Gesamtporenvolumen nicht erheblich verändert aber die Sauggeschwindigkeit infolge der Kapillarwirkung wird erhöht.

### 3.263 Kornzusammensetzung der Putzsande

Im allgemeinen waren die Putzproben aus Sand II (mit geringerem Feinsandanteil) dichter als die Putzproben aus Sand I. Dies ist vor allem auf die geringere Porosität der Sand II-Putze zurückzuführen (vergl. Zahlentafel 3, Seite 13).

Außerdem durfte sich auch das geringe Schwinden der Sand II-Putze günstig auf die Dichtigkeit ausgewirkt haben. Es ist bekannt, daß Mörtel mit höherem Grobsandanteil im allgemeinen weniger stark schwinden und quellen als Mörtel mit einem hohen Feinsandanteil. So kann auch das Verhalten der Putzproben aus den beiden Mörtelsanden mit extremem Kornaufbau, die zusätzlich untersucht wurden, erklärt werden. Die Putzproben aus dem sehr groben Sand IV (fast ohne Feinkorn) verhielten sich erheblich besser als die Putzproben aus Sand III (mit sehr hohem Feinsandanteil).

Auf die große Bedeutung, die den groben Kornfraktionen im Putzmörtel zukommt, hat u.a. Spruck (8) hingewiesen. Nach Spruck wurden auch zur Blütezeit der Baukunst im späteren Mittelalter Putzmörtel mit grobem Korn bevorzugt. In neuer Zeit fordern besonders die Vorschriften der Länder, in denen noch härtere Schlagregenbeanspruchungen auftreten als in Deutschland, verhältnismäßig grobe Zuschlagstoffe im Putzmörtel. In einem neueren englischen Merkblatt (9) werden z.B. Korngrößen bis zu 12 mm Durchmesser empfohlen.

### 3.264 Bindemittel

Bei den Schlagregenversuchen erwiesen sich die Zement-Putze bei weitem am dichtesten. Selbst zwei Jahre nach

der Herstellung war bei den Zementputzen nach 96 stündiger Beregnungszeit noch keine sichtbare Durchfeuchtung festzustellen. Die untersuchten Zementputze können daher bei den gewählten Beanspruchungsgrößen als schlagregensicher bezeichnet werden.

Zwischen den Kalk-Zement-Putzen und den Putzen aus hochhydraulischem Kalkmörtel ergaben sich sowohl in den Durchfeuchtungszeiten als auch in der Wasseraufnahme keine erheblichen Unterschiede.

Die geringste Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen hatten die Weißkalkputze, bei denen schon wenige Minuten nach Beginn der Schlagregenbeanspruchung Durchfeuchtungen auftraten.



Abb. 18 Durchfeuchtung einer gerissenen Putzfläche aus hochhydraulischem Kalkmörtel.

Im Rahmen dieser Arbeit ist es nicht möglich, auf die Ursachen des Unterschiedes in der Dichtigkeit bei den mit verschiedenen Bindemitteln hergestellten Putzflächen im einzelnen einzugehen. Im großen gesehen bewirken folgende Eigenschaften eine Vergrößerung der Dichtigkeit:

- a) Hoher Gehalt des Bindemittels an hydraulisch erhärtenden Bestandteilen
- b) Hohe Festigkeiten des Putzmörtels
- c) Hohes Raumgewicht und geringe Porosität der Putze.

Zahlentafel 8 gibt einen Überblick über die mittleren Durchfeuchtungszeiten und die mittlere Wasseraufnahme der verschiedenen Putzarten. Vergleichsweise sind die Festigkeiten und das Raumgewicht der Putze mit aufgeführt.

Zahlentafel 8

Einfluß des Bindemittels auf die Eigenschaften  
der untersuchten Putzarten

(Ergebnisse der 4. Berechnung)

P u t z a r t	Sand	Raum- gewicht	Poro- sität	Druck- festig- keit	Mittl. Durch- feuch- tungs- zeit	Mittlere Wasser- aufnahme	
		kg/m <sup>3</sup>		kg/cm <sup>2</sup>		in Gew. %	in g
Zementputz	I	2140	21	229		-	-
"	II	2170	20,5	245	96 Std.	-	-
Kalkzementputz	I	2040	24,5	95	29 Min	6,8	535
"	II	2100	23	140	56 Min	5,9	493
h.hydraul.Kalk	I	1890	29,5	41	36 Min	7,3	530
"	II	2020	26	87	40 Min	6,0	512
Weißkalk	I	1920	29	13	8 Min	6,1	432
"	II	2040	25,5	10	7 Min	5,9	435

Aus Abb. 13, Seite 29 ist eine besondere Eigenart der un-  
behandelten Kalkzementputze zu ersehen:

Die Putzflächen Nr. 25 und 26 (vergl. Anlage 2), die etwa  
4 Wochen nach der Herstellung zum ersten Male beregnet wur-  
den, verhielten sich - auch bei den späteren Beregnungen -  
erheblich günstiger als die Putzflächen Nr. 27 und 28, die  
erst 4 Monate nach der Herstellung erstmalig beregnet wur-  
den. Ein ähnliches Verhalten zeigten die unbehandelten  
zweilagigen Putze. Daraus ist zu schließen, daß sich die  
erste Beregnung günstig auf das spätere Verhalten der Putze  
ausgewirkt hat. Diese Beregnung hat als eine Art intensive  
"Nachbehandlung" gewirkt.

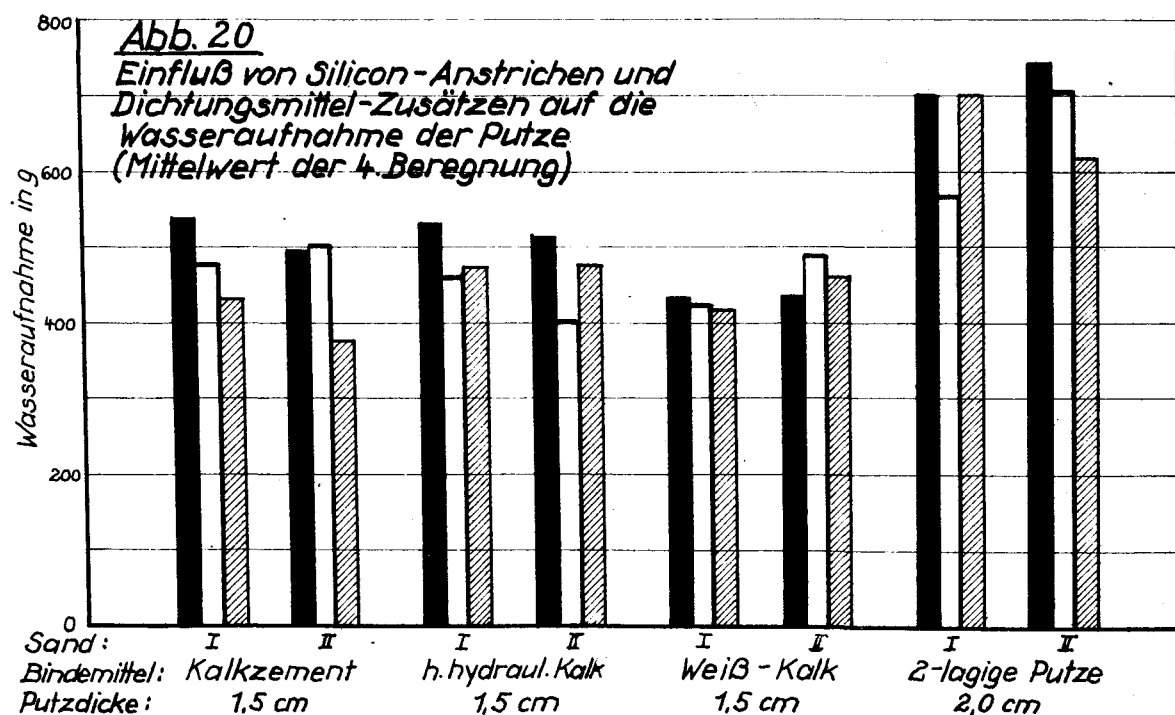
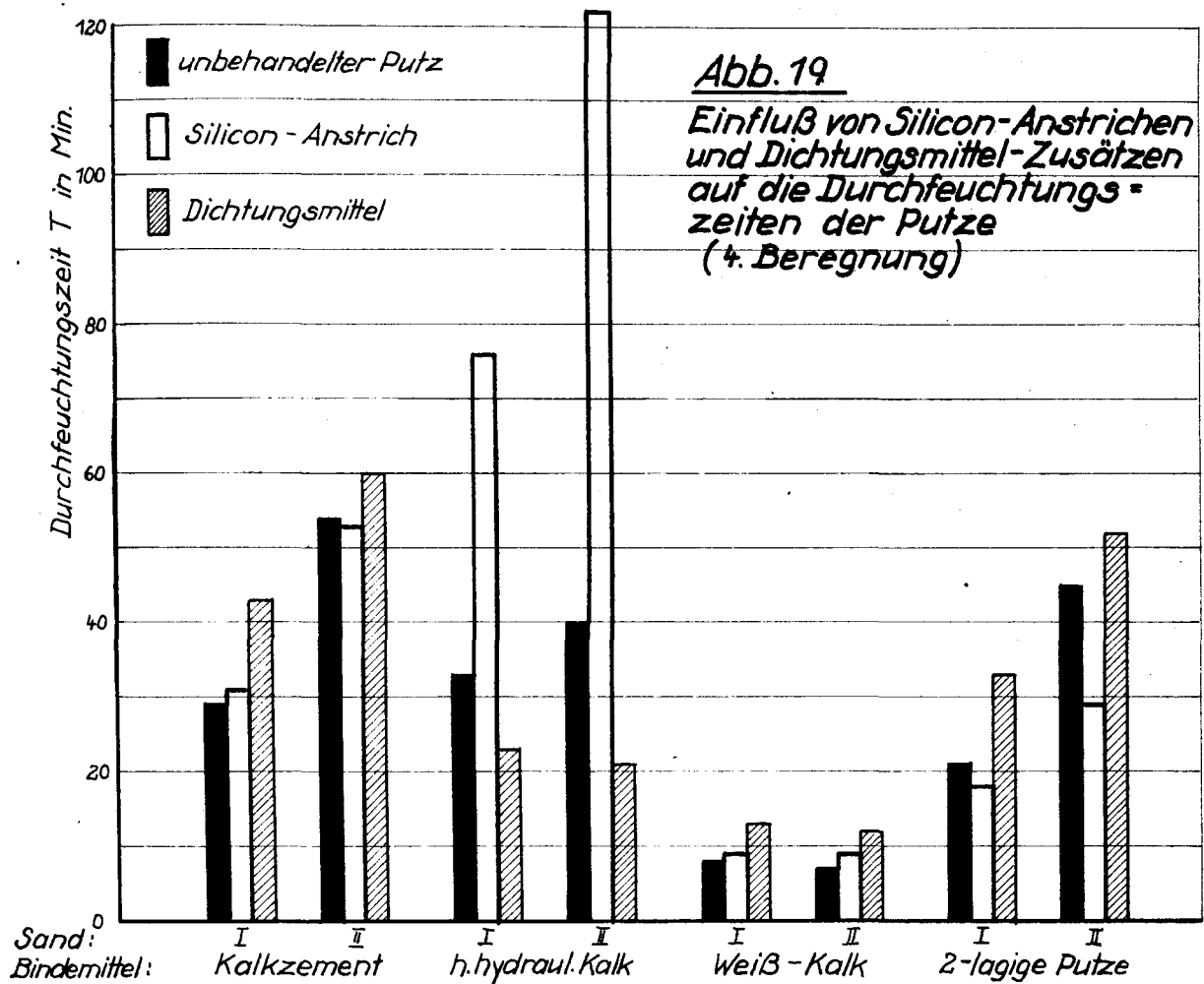
### 3.265 Silicon-Anstriche und Dichtungsmittelzusatz

Aus den Abbildungen 13 bis 17 (Seite 29 bis 33) ist der  
Einfluß des Silicon-Anstriches und die Dichtungsmittelzu-  
satzes auf die schlagregenhemmende Wirkung der verschiede-  
nen Putzarten im einzelnen und aus den Abbildungen 19 und  
20 in Zusammenstellungen zu ersehen.

Ein 3 Wochen nach Herstellung der Putzproben aufgebracht  
Silicon-Anstrich mit dem in Verhältnis 1 : 1 verdünnten An-  
strichmittel erwies sich nur bei den hochhydraulischen Kalk-  
putzen - besonders bei denen aus Sand II - als wirksam. Die  
Wirkung ließ im Laufe der Zeit etwas nach, war aber nach  
2 Jahren noch sehr beachtlich. Bei Kalkzementputzen verur-  
sachte nur ein konzentrierter Anstrich (Putzflächen Nr. 43  
und 44) eine Verbesserung. An den anderen Putzen trat gar  
keine oder nur eine unbedeutende Veränderung der schlagre-  
genhemmenden Eigenschaften ein.

Nach Kather und Torkelson (6) zeigt die Behandlung von Bau-  
stoffen mit einigen Silicon-Arten keine Wirkung, wenn in  
dem Baustoff größere Mengen Kalzium und keine lösliche Kie-  
selsäure vorhanden sind. Allerdings behaupten die beiden





Autoren, daß diese Erscheinung bei Natriummythylsliconat - woraus das verwendete Anstrichmittel im wesentlichen bestand - nicht auftritt.

Zur Klärung der Frage, ob die in den "jungen" Kalkzement- und Weißkalkputzen vorhandenen größeren Mengen an  $\text{Ca(OH)}_2$  die Ursache für die schlechte Wirkung des Silicon-Anstriches sind, wurden nachträglich zusätzliche Nebenuntersuchungen durchgeführt.

Unbehandelte Putzflächen aus Weißkalkmörtel wurden etwa 2 Jahre nach der Herstellung - zu einer Zeit also, wo die Karbonisierung der Putze abgeschlossen war - mit einem Silicon-Anstrich (Anstrichmittel unverdünnt) versehen und eine Woche später beregnet. Bei dieser Beregnung hatten die Putzflächen eine etwa 5 - 7 mal größere Durchfeuchtungszeit als vorher im unbehandelten Zustand. Der Anstrich wirkt also, wenn er auf ausreichend "alten" Putzen aufgebracht wird.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlossen werden, daß bei der Silicon-Behandlung von Weißkalkputzen und z.T. auch von Kalkzement-Putzen vorsichtig vorgegangen werden muß. Auf keinen Fall darf die Imprägnierung zu früh durchgeführt werden. Wenn unbedingt ein frühzeitiger Schutz des Bauwerkes gegen Regen erforderlich ist, empfiehlt sich die Verwendung von hochhydraulischem Kalkmörtel.

Im einzelnen müßte die Verwendung von Silicon-Anstrichen auf Weißkalkputzen durch Spezialuntersuchungen geklärt werden.

Der Zusatz eines D i c h t u n g s m i t t e l s zum Putzmörtel bewirkte, wie aus der Abb. 19 Seite 42 zu entnehmen ist, bei fast allen Putzarten eine Verbesserung der schlagregenhemmenden Eigenschaften. Nur bei den hochhydraulischen Kalkputzen trat wahrscheinlich infolge der verhältnismäßig sehr großen Porosität eine geringe Verschlechterung ein.

### 3.266 Das Verhalten der zweilagigen Putze

Die zweilagigen Putzflächen bestanden aus einem 1 cm dicken Unterputz aus Kalkzement M.V. 1 : 2 : 8 n. Rtl. und einem 1 cm dicken Oberputz aus Weißkalkmörtel M.V. 1 : 3 n. Rtl. Bei den Schlagregenversuchen verhielten sich die zweilagigen Putzflächen etwa so, wie es auf Grund der Ergebnisse der Berechnungen an den 1,5 cm dicken einlagigen Putzflächen vermutet werden konnte. Zwischen den Durchfeuchtungszeiten der einlagigen und der zweilagigen Putze ergab sich folgende ungefähre Beziehung:

$$T_2 \sim \frac{2}{3} \cdot (T_{KZ} + T_{WK})$$

$T_2$  = Durchfeuchtungszeit der zweilagigen Putze (2 cm dick)

$T_{KZ}$  = Durchfeuchtungszeit der einlagigen Kalkzementputze,  
(1,5 cm dick)

$T_{WK}$  = Durchfeuchtungszeit der einlagigen Weißkalkputze  
(1,5 cm dick)

Ein Silicon-Anstrich wirkte sich aus dem in Abschnitt 3.264 angeführten Grund bei den zweilagigen Putzen nicht aus. Der Zusatz eines Dichtungsmittels zu den Putzmörteln erwies sich dagegen als günstig.

Ein auffallendes Verhalten zeigten die Putzproben Nr. 97 und Nr. 98. Bei diesen beiden unbehandelten, zweilagigen Putzen aus Sand II haben sich die schlagregenhemmenden Eigenschaften im Laufe der zweijährigen Dauer der Versuche ständig verbessert. Zwei andere zur gleichen Gruppe gehörende Putzflächen, Nr. 99 und Nr. 100, die im Gegensatz zu den erstgenannten Putzen Nr. 97 und 98 im Alter von 4 Monaten nach der Herstellung erstmals berechnet wurden, verhielten sich wesentlich ungünstiger. Auch hier hat sich also die Wasseraufnahme als "Nachbehandlung" ausgewirkt.

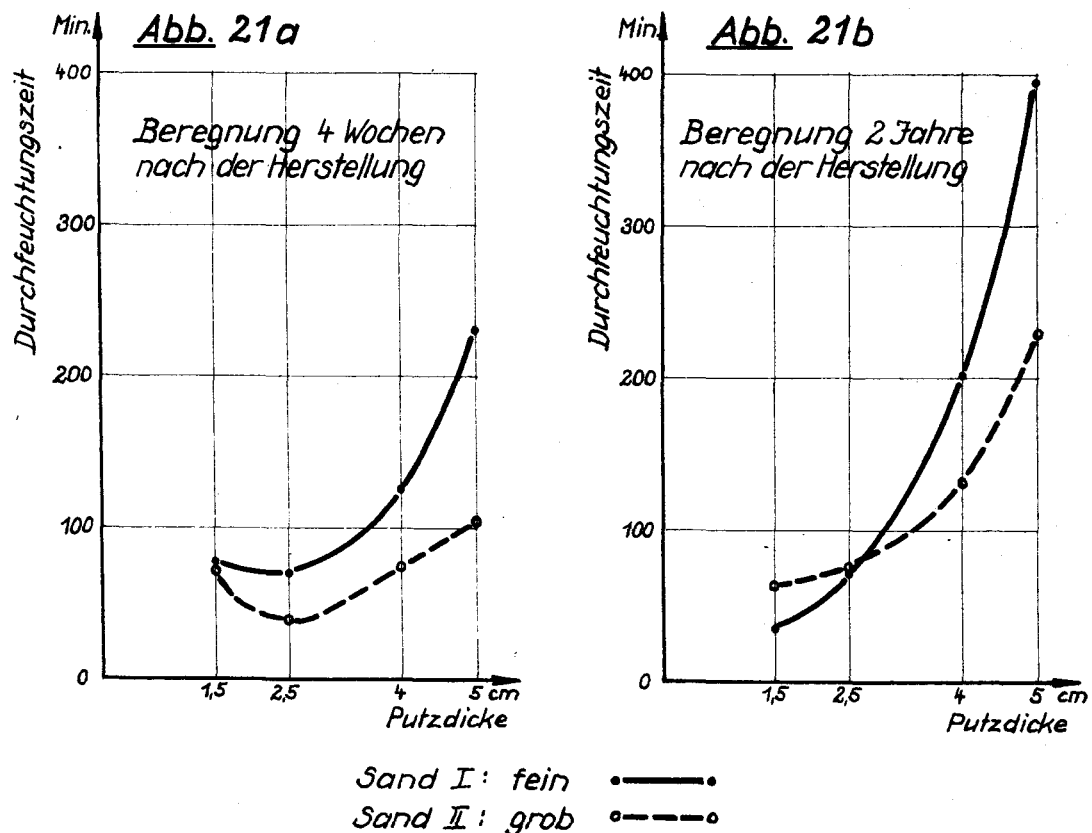
Die Versuche haben gezeigt, daß zweilagige Putze bei richtiger Ausführung einen guten Schutz gegen Schlagregen bie-

ten. Es empfiehlt sich, für den Unterputz einen Sand mit größerem Anteil an grobem Korn zu verwenden. Ein Dichtungsmittelzusatz zum Unterputz erhöht die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen und vergrößert - wie später gezeigt werden wird - die Atmungsfähigkeit. Ein Silicon-Anstrich ist zu empfehlen; doch darf die Behandlung mit Silicon nicht zu früh, sondern erst etwa ein halbes Jahr nach der Herstellung durchgeführt werden.

### 3.267 Einfluß der Putzdicke

In Abb. 17 Seite 33 sind die Durchfeuchtungszeiten der Kalkzementputzproben von mehr als 1,5 cm Dicke in Abhängigkeit vom Alter der Putzflächen nach der Herstellung aufgetragen. Aus Abb. 21 ist der Einfluß der Putzdicke auf die Durchfeuchtungszeit zu ersehen.

### *Einfluß der Putzdicke auf die Durchfeuchtungszeit*



In Abb. 21 fällt auf, daß die 1,5 cm dicken Putze bei der ersten Beregnung längere Durchfeuchtungszeiten hatten als die 2,5 cm dicken Putze. Auch in der vierten Beregnung verhielten sich die 1,5 cm dicken Putze im Verhältnis zu den dickeren Putzen günstig.

Im Gegensatz zu den meisten einlagigen 1,5 cm dicken Putzen, die im Laufe der Zeit an Schutzwirkung gegen Schlagregen einbüßten, zeigt Abb. 17, Seite 33, daß sich die dickeren Putze fast alle ständig verbesserten. Aus Abb. 21b ist zu entnehmen, daß bei der vierten Beregnung (zwei Jahre nach der Herstellung der Putzflächen) eine fast quadratische Abhängigkeit der Durchfeuchtungszeiten  $T$  von der Putzdicke  $d$  vorhanden ist. Diese Tatsache ist eine Bestätigung der Gleichung 7

$$T = K \frac{2 \cdot 7}{r \cdot 6} \cdot d^2$$

$T$  = Durchfeutungszeit

$d$  = Putzdicke

Für das verhältnismäßig günstige Verhalten der 1,5 cm dicken Putze, besonders bei der 1. Beregnung, gibt es verschiedene Gründe:

1. Das Regenwasser muß beim Eindringen in die Putzfläche einen gewissen Eintritt-Widerstand überwinden, der sich bei den dünnen Putzen zeitlich am stärksten auswirkt.
2. Die dickeren Putze hatten infolge schwächerer Verdichtung ein geringeres Raumgewicht und somit eine größere Porosität als die 1,5 cm dicken Putze (vergl. Zahlen-  
tafel 9).
3. Bei den dickeren Putzen war der Hydrationsvorgang bis zur ersten Beregnung im Inneren der Putzflächen unvollständig. Erst die bei der Beregnung aufgenommene Feuchtigkeit ließ die Hydratation fortschreiten.

4. Der Schwindvorgang ist bei den dickeren Putzkörpern ungleichmäßiger als bei den 1,5 cm dicken Putzen. Dadurch entstehen in der ersten Zeit an den Oberflächen Haarrisse, die das Eindringen des Wassers begünstigen. Diese Haarrisse schließen sich später wieder, sobald das Schwinden auch im Putzininneren abgeschlossen ist.

#### Zahlentafel 9

Raumgewichte von Kalkzementputzen verschiedener Dicke

Putzdicke		1,5 cm	2,5 cm	4 cm	5 cm
Raumgewicht in kg/m <sup>3</sup> 1)	Sand I	2040	1982	1900	1895
	Sand II	2100	2045	1925	1920

- 1) Die Raumgewichte wurden nach Beendigung der Versuche an den für die Berechnungen verwendeten Putzflächen ermittelt.

Die Schlagregenversuche an Putzen größerer Dicke zeigen, daß die von manchen Praktikern erhobene Forderung, möglichst dicke Putze anzuwenden, nur sehr bedingt zugestimmt werden kann.

Eine Vergrößerung der Putzdicke von z.B. etwa 1,5 cm auf rund 3 cm bringt bei einem guten Putz, wie aus Abb. 21b zu ersehen ist, nur eine verhältnismäßig geringe Erhöhung der Durchfeuchtungszeit. Bei Anwendung dicker Putze ist auf jeden Fall dafür zu sorgen, daß die Dichte (Raumgewicht) der Putze ausreichend ist. Der Mörtel darf daher nicht in zu dicken Lagen aufgebracht werden.

### 3.268 Auswirkung der Versuchsbedingungen auf die Ergebnisse der Schlagregenversuche.

Auf die Ergebnisse der Schlagregenversuche wirkten sich nicht nur die Eigenschaften der Putze selbst aus. Auch die bei den verschiedenen Beregnungen auftretenden Abweichungen in den V e r s u c h s b e d i n g u n g e n waren von Einfluß. Diese Unterschiede in den Versuchsbedingungen sind z.T. die Ursache für die Streuungen zwischen den Ergebnissen an Putzproben gleicher Art. Um die Versuche beurteilen zu können, war daher zu untersuchen, wie sich die unterschiedlichen Versuchsbedingungen auf die Ergebnisse auswirkten.

Bei den Versuchen traten hauptsächlich im Feuchtigkeitsgehalt der Putzproben und in der Wassertemperatur des Regens Abweichungen auf.

Aus den Abbildungen 13 bis 16 ist zu ersehen, daß die Putzproben während der Beregnungen je nach Putzart etwa 4 - 8 Gew.-% Wasser aufnahmen. Es liegt der Gedanke nahe, daß Putzproben, die am Anfang der Beregnung einen höheren F e u c h t i g k e i t s g e h a l t besitzen, schneller durchfeuchten als die mit niedrigerem Feuchtigkeitsgehalt, da sie bis zum Sichtbarwerden der Durchfeuchtung auf der Rückseite nur weniger Wasser aufzunehmen brauchen. Ein größerer Feuchtigkeitsgehalt verursacht außerdem nach Krischer (1) eine Erhöhung der Feuchtigkeitsleitzahl.

Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich, den Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der Putzproben auf Durchfeuchtungszeit und Wasseraufnahme bei den Beregnungen systematisch zu untersuchen, weil dazu eine weitere vollständige Versuchsreihe erforderlich gewesen wäre.

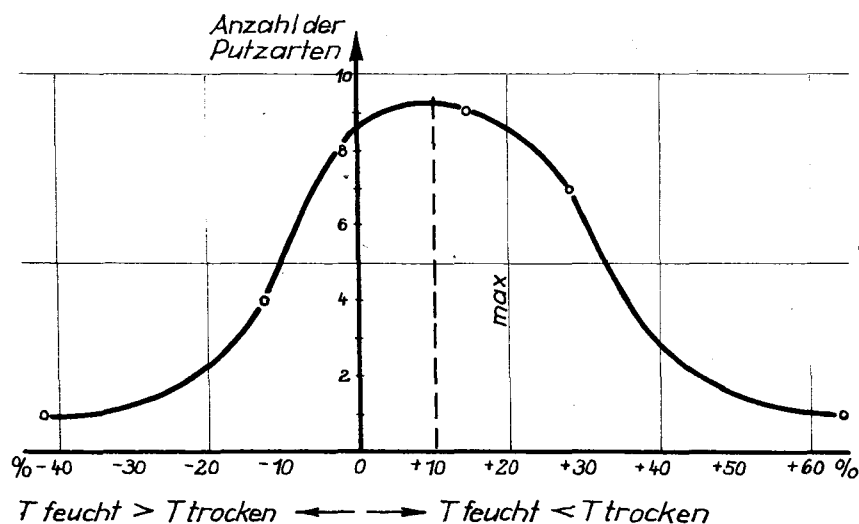
Um einen ungefähren Überblick zu gewinnen, wurde folgender Weg begangen:

Vor der vierten Berechnung wurde die eine Hälfte der Putzproben bei relativen Luftfeuchtigkeiten von 40 - 50 %, die andere Hälfte bei relativen Luftfeuchtigkeiten von 80 - 90 % gelagert. Zwischen den Ergebnissen der dritten und vierten Berechnung waren bei Lagerung in "normaler" Luftfeuchtigkeit nur geringe Änderungen zu erwarten. Daher konnte aus dem Unterschied in den Änderungen der Durchfeuchtungszeiten  $T$  bei den "trocken" und den "feucht" gelagerten Putzproben gegenüber den Durchfeuchtungszeiten  $T_3$  der dritten Berechnung auf den Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes geschlossen werden.

Zur Auswertung wurden bei allen Putzproben die Durchfeuchtungszeiten der vierten Berechnung  $T_4$  prozentual auf die Durchfeuchtungszeiten der dritten Berechnung  $T_3$  bezogen und darauf der prozentuale Unterschied  $\Delta T$  der Änderung zwischen den "trocken" und den "feucht" gelagerten Putzflächen ermittelt.

$$\Delta T = \left( \frac{T_4 \text{ trocken}}{T_3} - \frac{T_4 \text{ feucht}}{T_3} \right) \cdot 100 \%$$

Die so errechneten Werte sind in Anlage 5, Seite            zusammen-  
gestellt und in Abb. 22 in Form einer Häufigkeitskurve  
aufgetragen.



**Abb. 22** Durchfeuchtungszeiten  $T$  von „trockenen“  
Putzen in %, bezogen auf gleichartige  
„feuchte“ Putze (Häufigkeit)



Abb. 22 zeigt, daß das Maximum der Häufigkeitskurve bei etwa + 10 % liegt, d.h. die Durchfeuchtungszeiten der "trocken" gelagerten Putzproben liegen im Mittel um etwa 10 % höher als die Durchfeuchtungszeiten der "feucht" gelagerten Putzproben.

Diese Überlegungen beziehen sich nur auf "alte" Putze, bei denen der Hydratationsvorgang größtenteils abgeschlossen ist. Es ist anzunehmen, daß sich bei "jungen" Putzen, also z.B. bei der ersten und zweiten Beregnung, eine "Feucht"-Lagerung günstiger ausgewirkt hätte.

Interessant ist in diesem Zusammenhang die Beobachtung Theins (14), daß Schlagregendurchfeuchtungen meistens im Februar, also am Ende des Winters, mitunter schon nach Regen von nur kurzer Dauer auftraten. Die Erklärung hierfür dürfte darin liegen, daß der Feuchtigkeitsgehalt der Außenwände im Winter infolge der höheren relativen Luftfeuchtigkeiten - normalerweise größer ist als im Sommer. Daher treten die Durchfeuchtungen nach verhältnismäßig kurzer Schlagregenbeanspruchung ein.

Die Durchfeuchtungszeiten der Putze werden auch durch die W a s s e r t e m p e r a t u r des Regens beeinflusst, die bei den über mehrere Jahre laufenden Versuchen nicht konstant gehalten werden konnte. Sie schwankte zwischen den Grenzwerten + 11°C im Herbst und + 18°C an den heißesten Sommertagen. Die mittlere Wassertemperatur lag bei etwa 13°C. Wie groß sind nun die Abweichungen in den Versuchsergebnissen, die durch diese Temperaturunterschiede hervorgerufen werden?

Nach Gleichung 7 Seite 37

$$T = K \cdot \frac{2 \cdot \eta}{r \cdot \sigma} \cdot d^2$$

ist die Durchfeuchtungszeit T proportional der Zähigkeit  $\eta$  und umgekehrt proportional der Oberflächenspannung  $\sigma$  des Wassers. Zähigkeit und Oberflächenspannung des Wassers sind,

wie aus Abb. 23 und 24 zu entnehmen ist, von der Temperatur abhängig. In Zahlentafel 10 sind Zahlenwerte des Quotienten  $\frac{\eta}{\sigma}$  für die mittlere Wassertemperatur und für die Grenzwerte zusammengestellt.

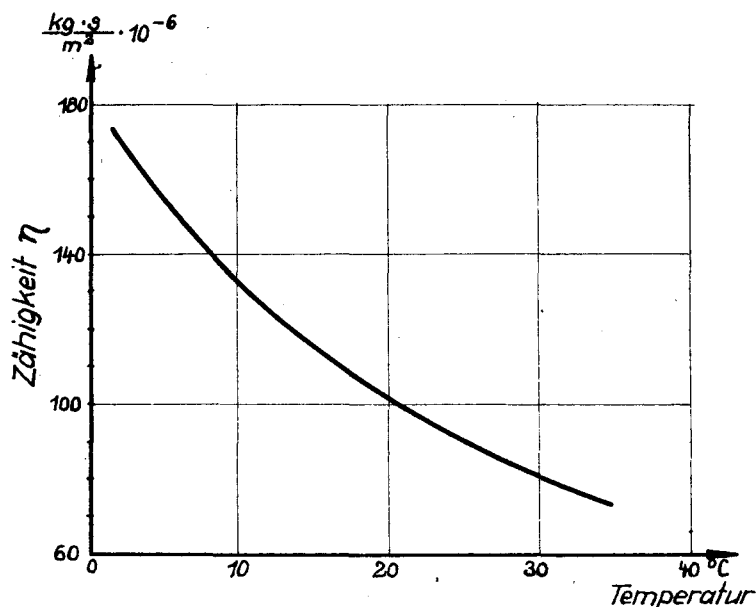


Abb.23: Zähigkeit  $\eta$  des Wassers als Funktion der Temperatur nach (10)

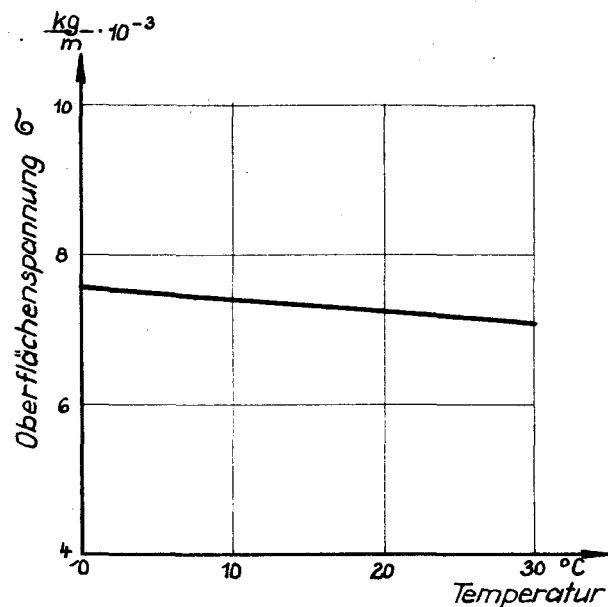


Abb.24: Oberflächenspannung  $\sigma$  des Wassers als Funktion der Temperatur nach (7)

# Zahlentafel 10

Oberflächenspannung  $\sigma$  und Zähigkeit  $\eta$  des Wassers nach Hütte 1 und Haller.

Temperatur °C	Zähigkeit $\eta$ $\frac{\text{kg} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \cdot 10^{-6}$	Oberflächen- spannung $\sigma$ $\frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 10^{-3}$	$\frac{\eta}{\sigma}$ $\frac{\text{s}}{\text{m}} \cdot 10^{-3}$	$\frac{\sigma}{\eta}$
11	128	7,33	17,45	107
14	119	7,28	16,3	100
18	107	7,22	14,8	91

Aus Zahlentafel 10 ist zu ersehen, daß die prozentualen Abweichungen in den Durchfeuchtungszeiten infolge von Unterschieden der Temperatur des Regenwassers theoretisch etwa  $\pm 8 \%$  betragen. Zur Überprüfung dieser Beziehungen wurden zwei Vergleichsversuche durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Vergleiche stimmten weitgehend mit den rechnerischen Werten überein.

### 3.3 Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit

#### 3.31 Allgemeines

Die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Schlagregenversuche haben ergeben, daß bei längerer Beregnungsdauer fast alle Putzarten mehr oder weniger wasserdurchlässig sind. In der Praxis besteht daher die Gefahr, daß Regenwasser durch die Putze in die darunterbefindlichen Wände eindringt. Um zu verhüten, daß das in die Wände eingedrungene Wasser Schäden verursacht, muß es in Zeiten trockener Witterung wieder aus den Wänden in die Außenluft entweichen können. Aus diesem Grund ist zur Beurteilung eines Außenputzes die Kenntnis seiner Wasserdampfdurchlässigkeit unbedingt erforderlich.

Zur Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit werden Proben des Baustoffes auf der einen Seite "feuchter" Luft, auf der anderen Seite "trockener" Luft ausgesetzt. Die "trockene" und die "feuchte" Luft haben einen unterschiedlichen Wasserdampfdruck. Dieser Druckunterschied bewirkt den Feuchtigkeitstransport von der "feuchten" auf die "trockene" Seite der Probe.

Fast alle Baustoffe - mit Ausnahme der Metalle - sind mehr oder weniger stark hygroskopisch, d.h. diese Baustoffe haben einen bestimmten Feuchtigkeitsgehalt, der hauptsächlich von der Temperatur und von der relativen Luftfeuchtig-

### Gleichgewichtsfeuchtigkeiten für Mörtel nach Haller [7] und Wissmann [15]

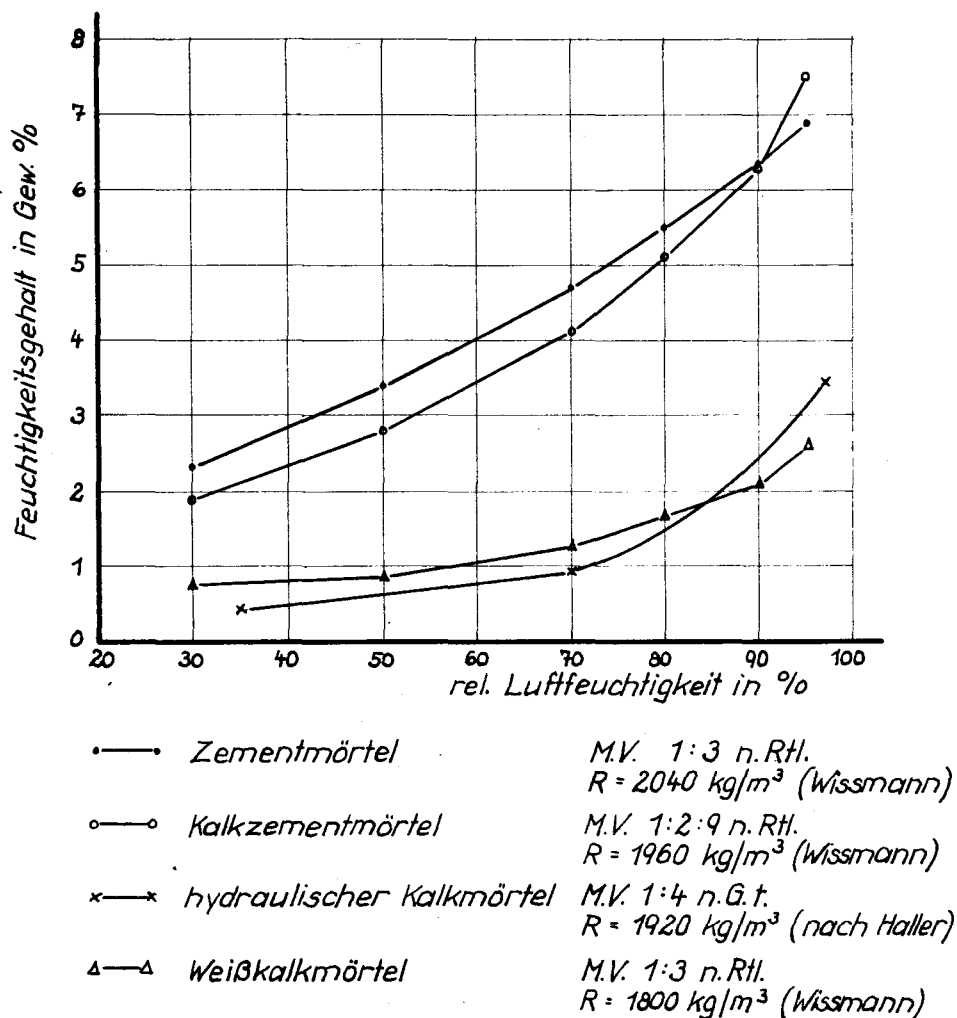


Abb. 25

keit der sie umgebenden Luft abhängig ist. In Abb. 25 sind die Feuchtigkeitsgleichgewichte einiger Putzmörtel nach Haller (7) und Wissmann (15) aufgetragen. Da die Poren teilweise mit Wasser gefüllt sind, spielt beim Wasserdampfdurchgang durch die Baustoffe neben der Diffusion auch die kapillare Wasserfortbewegung eine Rolle. Beide Anteile sind experimentell schwer zu trennen. Deshalb ist es üblich, bei der Wasserdampfdurchlässigkeit von Baustoffen so zu rechnen, als ob die Wasserdampfbewegung nur den Gesetzen der Diffusion folgt.

### 3.32 Versuchsmaterial

Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit wurde an einem Teil der für die Schlagregenversuche benutzten Putzflächen durchgeführt. Konstruktion und Herstellung der Putzflächen sind im Abschnitt 3.22 beschrieben.

### 3.33 Versuchsanordnung

Die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen erfolgte mit einer Anlage, die im Prinzip Apparaturen ähnelt, wie sie in der Literatur häufig beschrieben worden sind (16). Die Anlage ermöglicht es, die zu untersuchenden Putzflächen auf der einen Seite "feuchter" Luft und auf der anderen Seite "trockener" Luft auszusetzen. Die durch das Prüfstück infolge des Wasserdampfdruckgefälles von der feuchten zur trockenen Seite durchgelassenen Wasserdampfmen gen werden von konzentrierter Schwefelsäure aufgenommen und können gewichtsmäßig erfaßt werden. Die Versuchseinrichtung ist in Abb. 26 bis 29 dargestellt.

Die Anlage besteht aus einem zweiteiligen Meßkasten, der in einem größeren Raum mit ungefähr gleichbleibenden Temperaturen und relativen Luftfeuchtigkeiten untergebracht ist. In dem Meßkasten befinden sich Gefäße mit der konzentrierten Schwefelsäure sowie ein Präzisions-Thermohygrograph. Der Oberteil des Meßkastens hat eine Blendenöffnung von 42 x 42 cm; auf diese Blende wird die zu untersuchende Putzprobe aufgelegt und mit einer Spezialdichtung abgedichtet. Der Oberteil des Meßkastens mit der Putzfläche wird dann auf den unteren Teil des Meßkastens gesetzt, nachdem zuvor der Thermohygrograph betriebsbereit gemacht und Schwefelsäure in die Gefäße gefüllt wurde. Die beiden Teile des Meßkastens sind gegenseitig mit einer umlaufenden Ölwanne abgedichtet. Im Meßkasten-Unterteil ist weiterhin ein Gas-hahn eingebaut, der den Zweck hat, Über- und Unterdrücke beim Schließen bzw. Öffnen des ganzen Meßkastens zu verhindern.

Die zur Wasseraufnahme benutzte Menge von konzentrierter Schwefelsäure war so groß, daß die während des Versuches eintretende Verdünnung nicht mehr als maximal 5 %, meistens jedoch weniger betrug.

Der zur Registrierung der relativen Luftfeuchtigkeit im Meßkasten benutzte Thermohygrograph, Bauart Lambrecht, wurde vor jeder Messung neu geeicht. Die Versuchsauswertung erfolgte unter der Annahme, daß der Thermohygrograph den Mittelwert der im Meßkasten vorhandenen relativen Luftfeuchtenheiten registrierte.

Zwei Meßkästen gleicher Bauart standen in einem größeren Raum, der ständig feucht gehalten wurde. Ein Ventilator sorgte in diesem Raum für dauernde Luftumwälzung. Die Temperaturen und die relativen Luftfeuchtenheiten in dem Prüfraum wurden täglich mit einem Aspirationspsychrometer gemessen.

### 3.34 Versuchsdurchführung

Die zu prüfende Putzfläche wurde zunächst bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 35 % bis 40 % leicht vorgetrocknet und dann schnell in den Meßkasten eingesetzt. Nachdem der Thermohygrograph betriebsbereit gemacht und die Schwefelsäure gewogen und eingefüllt war, wurde der Meßkasten geschlossen. Der Versuch begann.

Jede Messung erfolgte in zwei Abschnitten: zunächst mußte sich in der Putzfläche ein Feuchtenheitsgehalt einstellen, der mit den relativen Luftfeuchtenheiten auf beiden Seiten der Probe im Gleichgewicht stand. Hierzu waren je nach Putzart etwa 2 bis 10 Tage erforderlich. Während dieser Zeit änderte sich auch die relative Luftfeuchtigkeit im Meßkasten ständig (vergl. Abb. 30 Seite 58).

Der Gleichgewichtszustand war erreicht, wenn die relative Luftfeuchtigkeit im Meßkasten konstant blieb. Jetzt begann

Abb. 26 Versuchseinrichtung zur Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Putzen

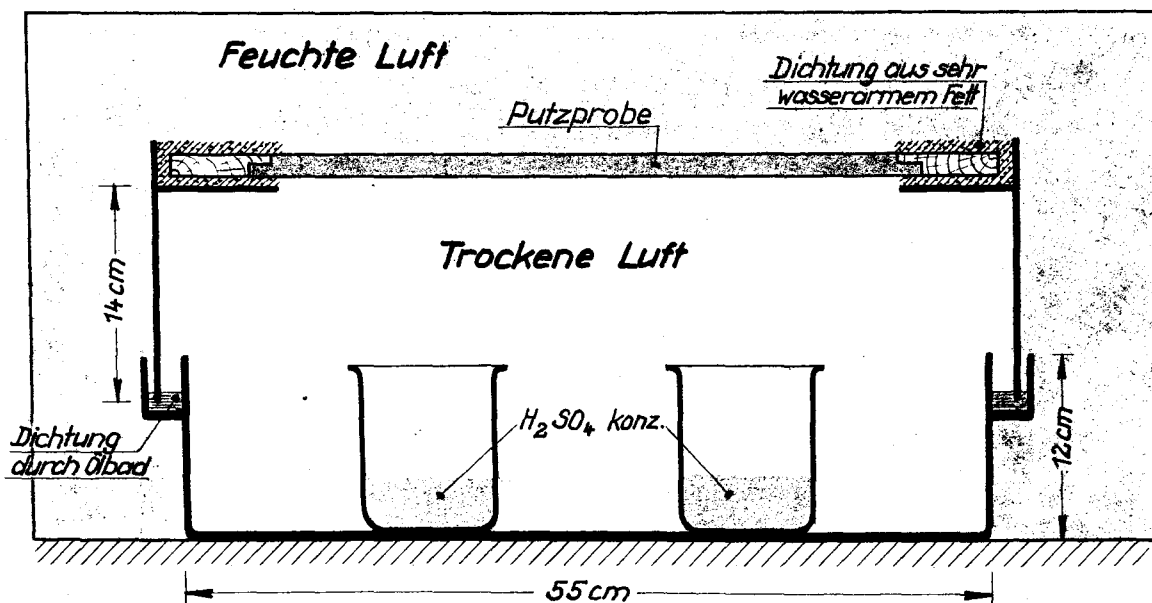
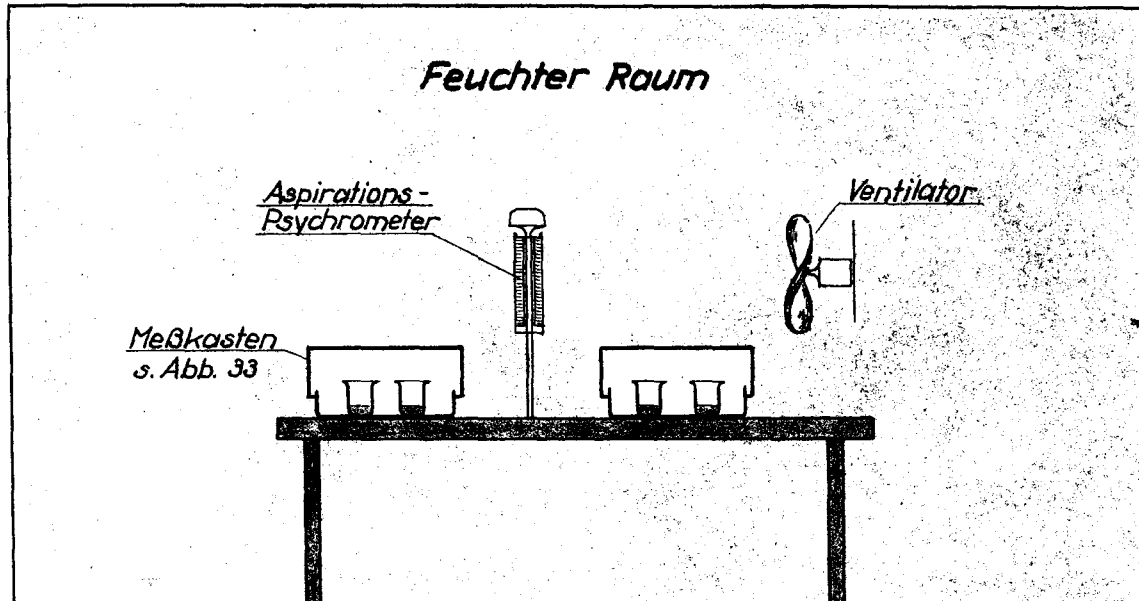


Abb. 27 Meßkasten für die Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit von Putzen

Abb. 28

Unterteil des  
Meßkastens mit  
Thermohygrograph  
und Schwefel-  
säuregefäßen

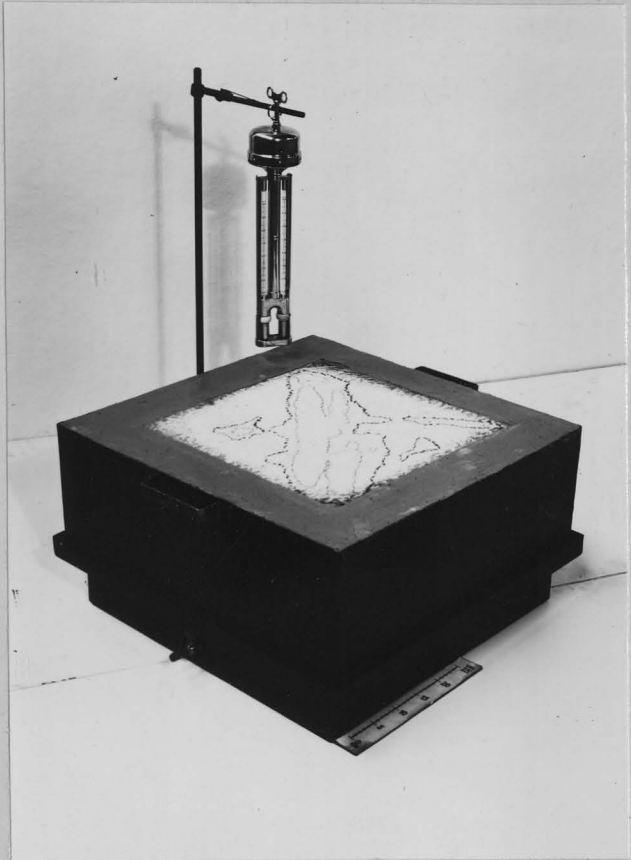
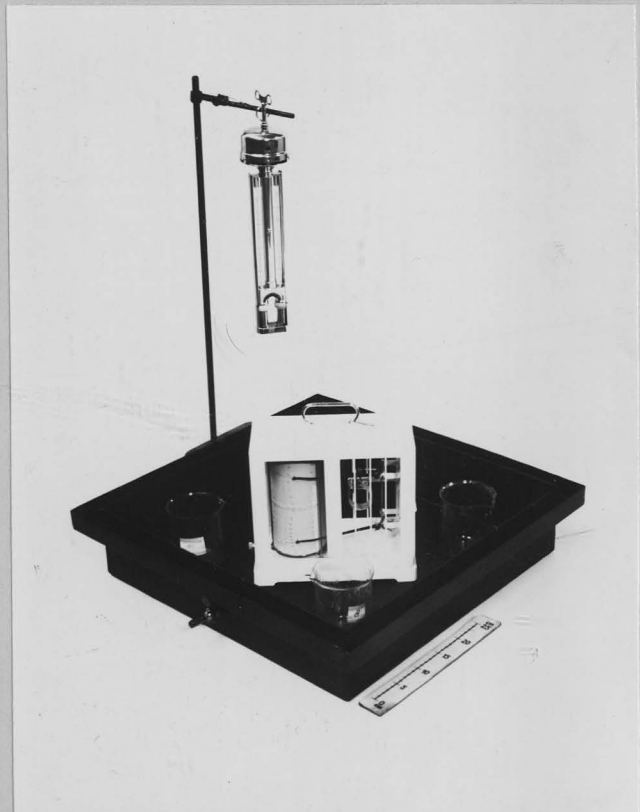


Abb. 29

Meßkasten  
mit einge-  
setzter  
Putzfläche





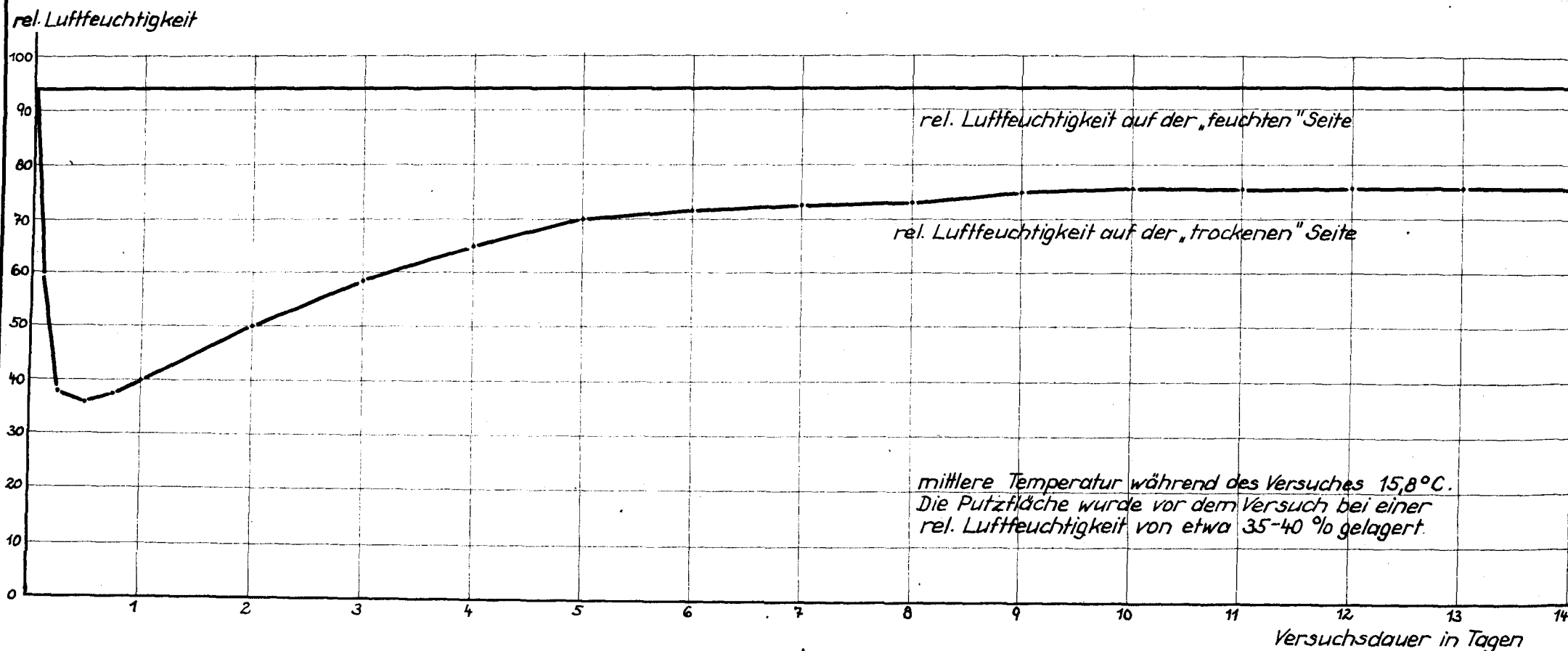


Abb. 30 Bestimmung der Wasserdampfdiffusion durch eine  
Putzfläche aus hochhydraulischem Kalkmörtel

Verlauf der rel. Luftfeuchten auf beiden Seiten der Putzfläche

die eigentliche Messung. Dazu wurde die Schwefelsäure im Meßkasten ausgewechselt. Dieser Wechsel dauerte nur wenige Sekunden, so daß durch die Öffnung des Meßkastens keine Änderung des Feuchtigkeitsgleichgewichts in der Putzfläche entstand.

Nach Beendigung der Messung wurde die Wasserdampfdurchgangszahl  $k_d$  der Putzproben aus der Gewichtszunahme der Schwefelsäure bestimmt. Aus der Wasserdampfdurchgangszahl konnte nach (17) der Diffusionswiderstandsfaktor  $\mu$  berechnet werden.

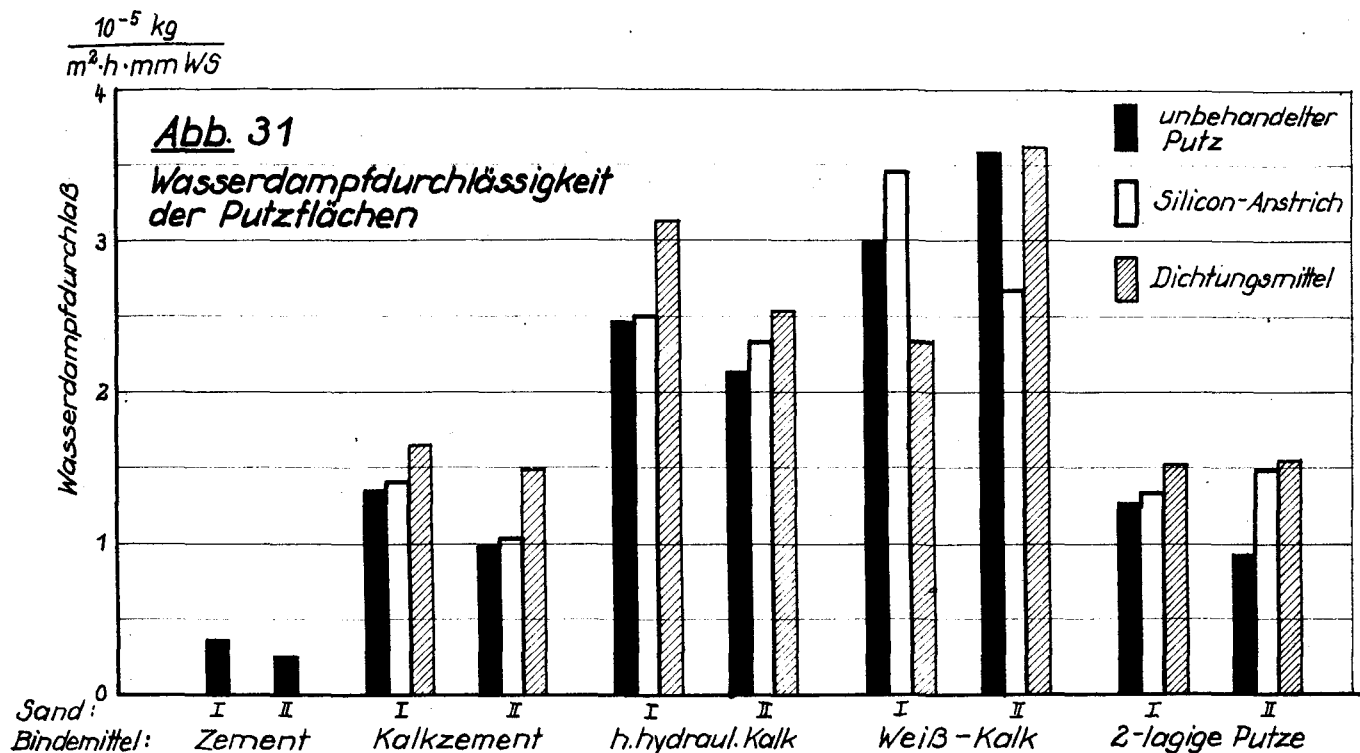
Die Wasserdampfdurchgangszahl  $k_d$  wurde in  $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmWS}}\right)$  angegeben. Außerdem enthalten die Zusammenstellungen die auf die Dicke der Putzproben bezogenen Wasserdampfdurchgänge in  $\left(\frac{\text{g}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmQS}}\right)$

Die Säure nahm in den kurzen Zeitspannen zwischen Wägung und Einsetzen in den Meßkasten bzw. zwischen Entnahme aus dem Meßkasten und Wägung nach dem Versuch aus der Luft geringe Wassermengen auf. Diese Wassermengen wurden durch eine Korrektur berücksichtigt. Außerdem wurde bei der Auswertung der im Meßkasten zu Beginn des Versuches vorhandene Wasserdampfgehalt abgezogen.

### 3.35 Versuchsergebnisse

Die Ergebnisse der Bestimmung der Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen sind in Anlage 3 zusammengestellt. Einen Überblick gibt die graphische Darstellung in Abb. 31.

Aus Abb. 31 ist zu ersehen, daß die reinen Zementputze am wenigsten Wasserdampf durchlassen. Es folgen die Kalkzementputze, die hochhydraulischen Kalkputze und die Weißkalkputze.



Die Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen aus Sand I (mit höherem Feinsandanteil) war im allgemeinen infolge der größeren Porosität größer als die der Putzflächen aus Sand II.

Der Siliconanstrich wirkte sich auf die Wasserdampfdurchlässigkeit nicht nennenswert aus.

Der Dichtungsmittelzusatz erhöhte die Wasserdampfdurchlässigkeit der Putze gegenüber gleichartigen Putzen ohne Dichtungsmittelzusatz. Die Ursache hierfür liegt in der größeren Hohlräumigkeit der Putze mit Dichtungsmittelzusatz. Aus dem gleichen Grund haben auch die 5 cm dicken Kalkzementputze eine relativ größere Wasserdampfdurchlässigkeit als die 1,5 cm dicken Kalkzementputze.

In Abb. 32 ist die Abhängigkeit zwischen Hohlräumigkeit und Diffusionswiderstandsfaktor der verschiedenen Putzarten dargestellt. Die von Wissman (15) angegebene grobe

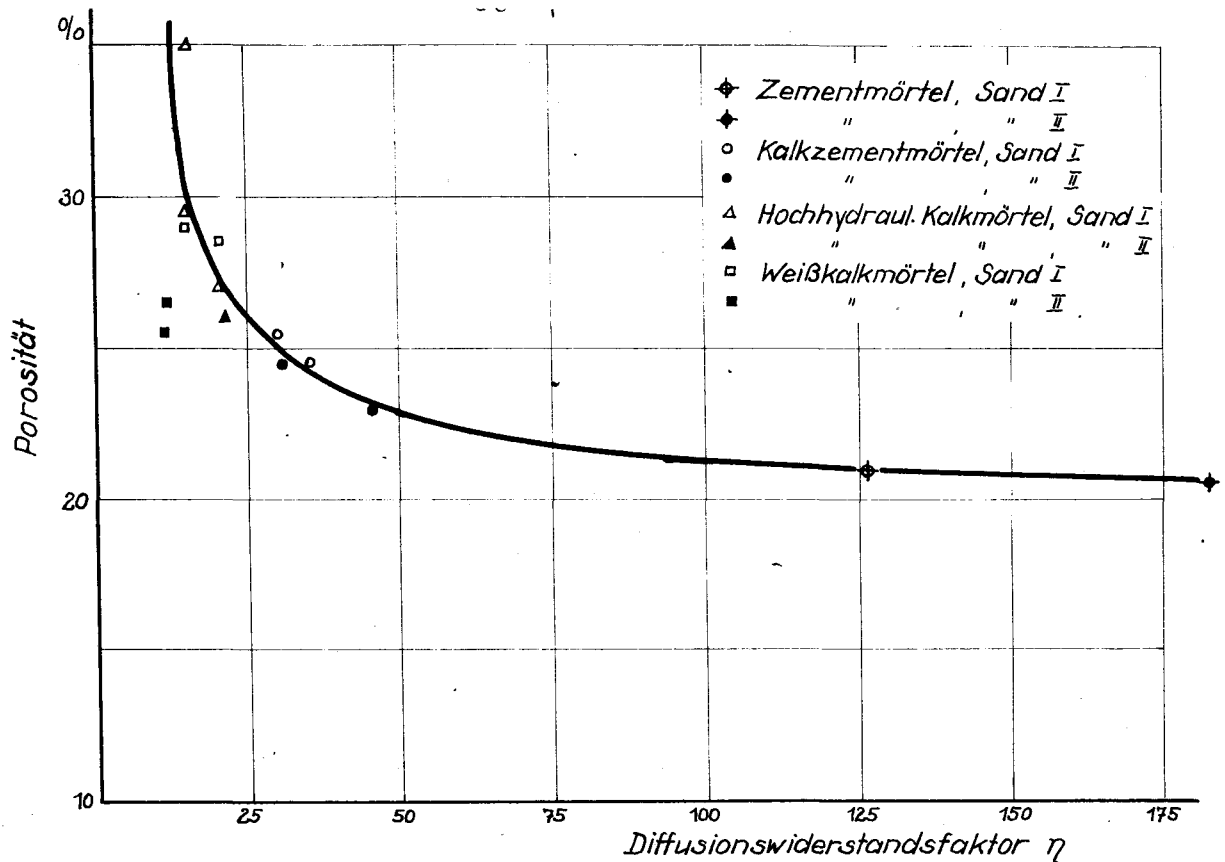


Abb. 32 Abhängigkeit des Diffusionswiderstands=faktors  $\eta$  von der Porosität  $P$  der Putzmörtel

Beziehung, daß die Diffusionswiderstände dem Quadrat der Porosität umgekehrt proportional sind, bestätigt sich im großen und ganzen.

Die Messungen an die zweilagigen Putzen zeigen eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit den Meßergebnissen der einlagigen Putze. In Zahlentafel 11 sind die durch Messung ermittelten Dampfdurchgangszahlen  $k_d$  der zweilagigen Putze mit den aus den Meßergebnissen der einlagigen Putze errechneten Wertengegbergestellt.

Zahlentafel 11

Gemessene und errechnete Dampfdurchgangszahlen  $k_d$   
der zweilagigen Putze.

P u t z a r t	Dampfdurchgangszahlen $k_d$	
	gemessen	errechnet
	$\frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mmWS}}$	$\frac{\text{kg}}{\text{h} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{mmWS}}$
2-lag. Sand I	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$0,012 \cdot 10^{-3}$
" " " m.Silicon	$0,013 \cdot 10^{-3}$	$0,012 \cdot 10^{-3}$
" " " m.Dicht.M.	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$0,014 \cdot 10^{-3}$
2-lag. Sand II	$0,009 \cdot 10^{-3}$	$0,011 \cdot 10^{-3}$
" " " m.Silicon	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$0,011 \cdot 10^{-3}$
" " " m.Dicht.M.	$0,015 \cdot 10^{-3}$	$0,015 \cdot 10^{-3}$

Bei der Beurteilung der in Anlage 3 und in Abb. 31 angegebenen Dampfdurchgangszahlen ist zu beachten, daß diese durch Messungen im Gleichgewichtszustand gewonnen wurden, d.h. die Putzflächen befanden sich mit den relativen Luftfeuchtigkeiten auf beiden Seiten der Probe im hygroskopischen Gleichgewicht. Dieser Fall ist in der Wirklichkeit am Bauwerk die Ausnahme. Meistens wird sich der Feuchtigkeitsgehalt der Außenputze in der Praxis ständig ändern. Die dann von den Putzen durchgelassenen bzw. aufgenommenen und abgegebenen Wasserdampfmengen können erheblich von den durch die Messungen im Gleichgewichtszustand ermittelten Werten abweichen. Messungen, die vor Erreichen des Gleichgewichtszustands durchgeführt wurden, zeigten daß die auf der "trockenen" Seite der Putzflächen abgegebenen Wasserdampfmengen bei hohem Feuchtigkeitsgehalt der Putze bis zu 10 mal größer sein können als die angegebenen Werte.

### 3.36 Vergleich von Wasserdampfdurchlässigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen.

An einem guten Außenputz sind feuchtigkeitstechnisch u.a. folgende Anforderungen zu stellen:

1. Er soll wasserdampfdurchlässig sein
2. Er soll das Eindringen und den Durchgang von Niederschlagswasser weitgehend verhindern.

Die beiden Anforderungen sind weitgehend entgegengerichtet. Es muß von Fall zu Fall - je nach der Bauaufgabe - ein Kompromiß gefunden werden.

In Abb. 33 Seite 64 sind die an den Putzflächen ermittelten Diffusionswiderstandsfaktoren  $\mu$  und in Abb. 34 die Wasserdampfdurchgangszahlen  $k_d$  in Abhängigkeit von den Durchfeuchtungszeiten  $T$  dargestellt. Aus diesen Abbildungen ist zu ersehen, daß sich die mit dem Dichtungsmittel versehenen Putze im allgemeinen besser verhielten als die gleichen Putzarten ohne Dichtungsmittelzusatz.

Das beste Verhalten zeigten die hochhydraulischen Kalkputze mit Silicon-Anstrich, die eine hohe Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen und außerdem eine gute Atmungsfähigkeit besaßen.

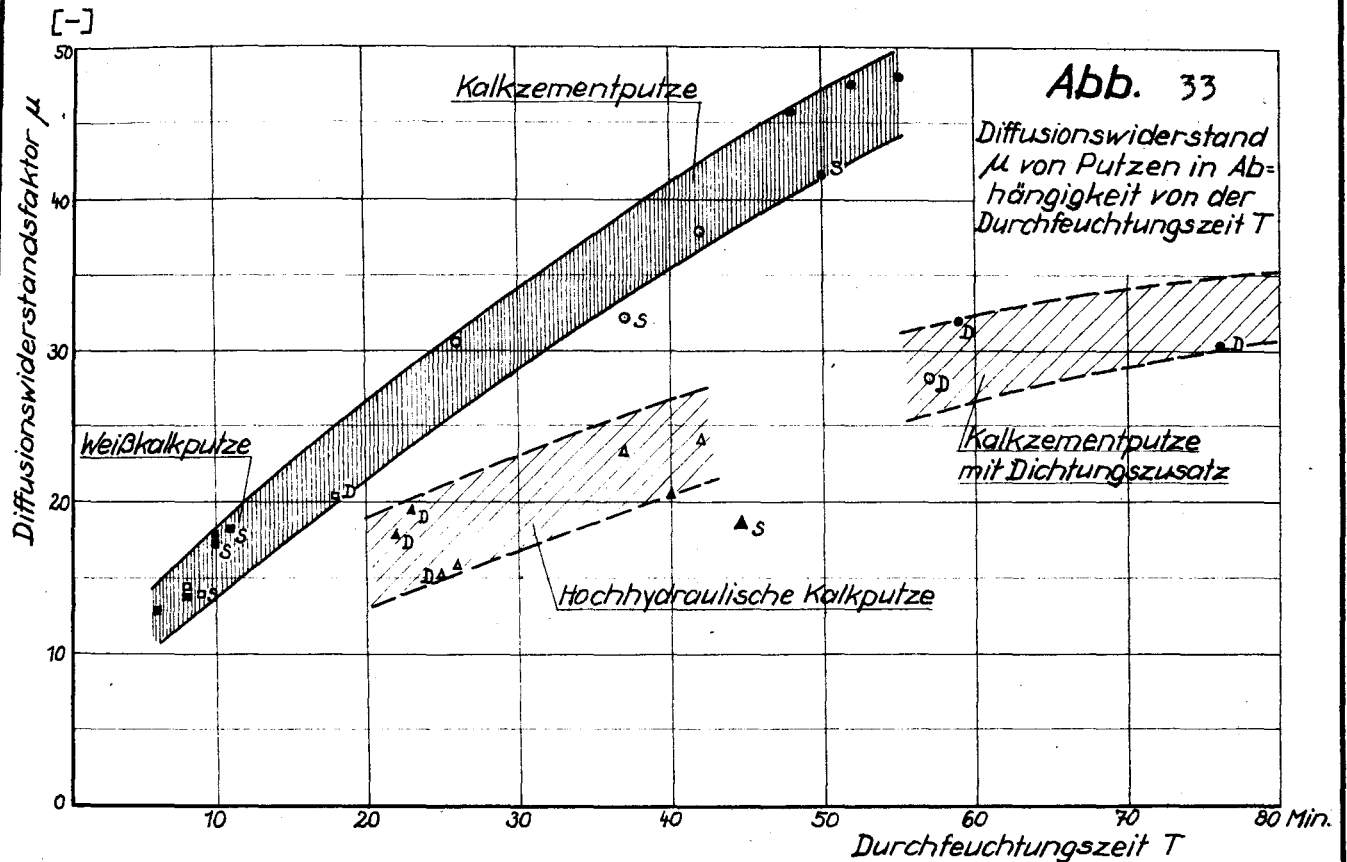
#### 4. Zusammenfassung

Es wurden Putzproben aus mehreren Putzmörteln auf Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen (Wasserdurchlässigkeit) und auf Wasserdampfdurchlässigkeit (Atmungsaktivität) untersucht.

Das Versuchsprogramm umfaßte Putze, die aus verschiedenen Bindemitteln und Sanden hergestellt waren. Ein Teil der Putzproben erhielt einen Dichtungsmittelzusatz, ein anderer Teil einen Siliconanstrich. Es wurden einlagige 1,5 cm dicke Putze und zweilagige 2 x 1 cm dicke Putzproben untersucht. Außerdem einige Putze bis zu 5 cm Dicke geprüft.

Die Putzproben hatten Abmessungen von etwa 46 x 46 cm. Um die Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beschädigung zu

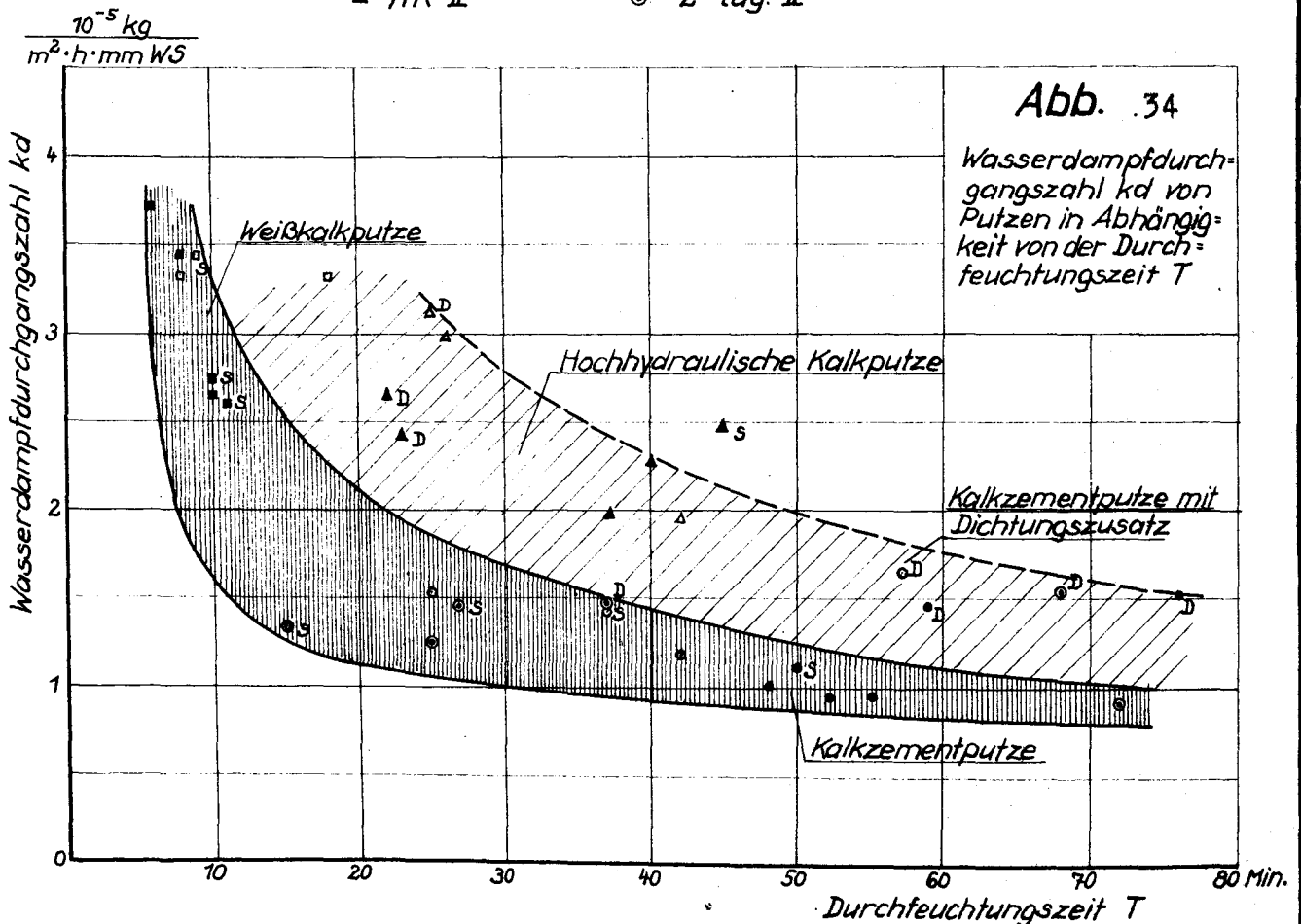
# Atmungsaktivität und Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen von Außenputzen



Abkürzungen  
vergleiche  
Seite 69, unten

- |         |             |
|---------|-------------|
| ○ KZ I  | □ WK I      |
| • KZ II | ■ WK II     |
| △ HK I  | ⊙ 2-lag. I  |
| ▲ HK II | ⊗ 2-lag. II |

S = Silicon - Anstrich  
D = Dichtungsmittelzusatz



erhöhen, waren die Proben am Rande mit einem Holzrahmen und in der Mitte mit einer Drahteinlage versehen.

Die Putzproben wurden im Laufe von zwei Jahren mehrfach durch "starken Schlagregen" beansprucht. Zur Erzeugung des künstlichen Schlagregens diente eine "Regenmaschine". Während der Versuche waren die Putzproben einem Winddruck von etwa 20 mm WS ausgesetzt. Die auf die Proben auftreffende Regenmenge betrug etwa  $1 \text{ Liter/m}^2 \cdot \text{Min.}$

Etwa 2 Jahre nach der Herstellung wurde bei rund der Hälfte der Putzproben die Wasserdampfdurchlässigkeit untersucht. Diese Versuche fanden mit Hilfe einer für diesen Zweck konstruierten Spezial-Apparatur statt. Die Putzproben waren während der Prüfung einseitig "trockener" Luft, auf der anderen Seite "feuchter" Luft ausgesetzt. Die von der "feuchten" auf die "trockene" Seite diffundierenden Wasserdampfmengen wurden durch Schwefelsäure aufgenommen und gewichtsmäßig erfaßt. Der Unterschied des Wasserdampfdruckes auf beiden Seiten der Proben schwankte - je nach der Durchlässigkeit der Probe - von 2 bis 10 mm QS.

Die Versuche hatten folgende Ergebnisse:

Die D i c h t i g k e i t der Putze hängt sowohl bei der Schlagregenbeanspruchung als auch beim Wasserdampfdurchgang vor allem von der Porosität des Putzmörtels und von dem verwendeten Bindemittel ab. Außerdem wirkte sich bei einigen Putzarten ein Silicon-Anstrich bzw. ein Dichtungsmittelzusatz auf die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen aus.

Es zeigte sich, daß die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen und die Wasserdampfdurchlässigkeit nicht in einem einfach umgekehrt proportionalen Verhältnis zueinander stehen. Mit zunehmender Dichte des Putzes wächst die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen schneller als der Diffusionswiderstand.

Am dichtesten waren bei weitem die Zement-Putze. Bei diesen trat selbst im Alter von 2 Jahren nach viertägiger Beregnung



noch keine Durchfeuchtung an der Rückseite auf. Die Wasserdampfdurchlässigkeit war so gering, daß sie praktisch als "Dampfsperre" angesehen werden kann.

Die Kalkzement-Putze und die Putze aus hochhydraulischem Kalkmörtel verhielten sich bei den Schlagregenversuchen etwa gleich. Die Wasserdampfdurchlässigkeit war bei den untersuchten Putzen aus hochhydraulischem Kalk größer, was auf die größere Porosität zurückzuführen ist.

Die Weißkalkputze zeigten nur eine geringe Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen. Die Wasserdampfdurchlässigkeit war etwa ebenso groß wie die bei den hochhydraulischen Kalkputzen.

Die P o r o s i t ä t der Putze hängt zum großen Teil von der Verdichtung des Putzmörtels, von dem verwendeten Sand, vom Wasser-Bindemittelverhältnis und gegebenenfalls von einem Dichtungsmittelzusatz ab.

Der Einfluß der Verdichtung des Putzmörtels auf die Wasser- und Wasserdampfdurchlässigkeit zeigte sich besonders bei der Untersuchung von Kalkzementputzen größerer Dicke. Die Widerstandsfähigkeit dieser Putzproben gegen Schlagregen war gegenüber den 1,5 cm dicken Putzen nicht um so viel größer, wie auf Grund ihrer größeren Dicke zu erwarten gewesen wäre. Dieses Verhalten ist auf die größere Hohlraumigkeit der dickeren Putze zurückzuführen. Auch die Wasserdampfdurchlässigkeit war aus diesem Grunde bei den dickeren Putzen relativ größer.

Bei fast allen Putzarten erwiesen sich die Putze aus Sand II dichter als die Putzproben aus Sand I (mit höherem Feinsandanteil). Hierfür sind zwei Gründe anzuführen. Einerseits war die Porosität der Sand I-Putze im allgemeinen größer. Zum anderen ist das Quellen und Schwinden infolge Wasseraufnahme und -abgabe bei den Sand II-Putzen (mit etwas gröberem Korn) geringer. Der günstige Einfluß eines

gröberen Kornanteils - besonders auf die Dauer-Dichtigkeit - zeigte sich besonders deutlich bei einigen Zusatz-Versuchen an Putzproben aus Sand IV (mit sehr hohem Grobsandanteil).

Der Zusatz eines Dichtungsmittels auf der Basis von "Oleaten, Mineralien und Salzen" erwies sich bei den Kalkzement- und Weißkalkputzen als günstig. Die Widerstandsfähigkeit dieser Putze gegen Schlagregen wurde erhöht. Außerdem nahm infolge der vergrößerten Porosität die Wasserdampfdurchlässigkeit zu. Bei den Putzen aus hochhydraulischem Kalkmörtel wirkte sich der Dichtungsmittelzusatz nicht günstig aus. Wahrscheinlich weil die Porosität dieser Putze mit Dichtungsmittelzusatz zu groß war (maximal  $\sim 35\%$ ).

Sehr günstig verhielten sich dagegen die hochhydraulischen Kalkputze mit Silicon-Anstrich. Die Schutzwirkung ließ im Laufe der Zeit zwar etwas nach; sie war aber zwei Jahre nach dem Aufbringen des Anstriches immer noch so stark, daß sie die Durchfeuchtungszeit bei den Schlagregenversuchen auf das zwei- bis dreifache gegenüber den unbehandelten Putzen vergrößerte.

Bei den Kalkzementputzen wirkte nur ein konzentrierter Silicon-Anstrich, während sich bei den Weißkalkputzen nur dann ein Einfluß zeigte, wenn der Anstrich erst längere Zeit nach der Herstellung des Putzes aufgebracht wurde. Das Versagen des Silicons auf "frischen" Weißkalkputzen und in geringer Konzentration und auch auf den frischen Kalkzementputzen ist wahrscheinlich auf die in diesen Putzen vorhandenen größeren Mengen von Kalkhydrat zurückzuführen.

Die Ergebnisse der Schlagregenversuche und der Untersuchungen der Wasserdampfdurchlässigkeit an den zweilagigen Putzen stimmten weitgehend mit den aus den Ergebnissen der einlagigen Putze theoretisch ermittelten Werten überein.

Die Versuchsergebnisse der einlagigen Putze lassen daher auch Schlüsse auf das Verhalten anderer, nicht untersuchter, mehrlagiger Putzarten zu. Z.B. kann auch auf die Wirkung eines zweilagigen Putzes mit Vorwurf aus Zementmörtel geschlossen werden.

Die Durchfeuchtungszeiten der Putze bei den Schlagregenversuchen waren nicht nur von den Putzeigenschaften selbst sondern auch von den Versuchsbedingungen abhängig. Z.B. wirkte sich eine höhere Wassertemperatur des Regens und ein größerer Feuchtigkeitsgehalt der Putzproben beschleunigend aus auf die Durchfeuchtungszeit.

Auf Grund der in Zahlentafel 12 Seite 69 zusammengestellten Versuchsergebnisse ist es möglich, die untersuchten Putze nach dem Grad ihrer Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregen und der Wasserdampfdurchlässigkeit einzustufen. Da der Arbeitsplan die wichtigsten gebräuchlichen Putze umfaßte und die Versuche unter festgelegten Versuchsbedingungen stattfanden, können die Versuchsergebnisse auch als Grundlage für die Beurteilung von später durchzuführenden Versuchen an neuartigen Putzen bzw. Putzanstrichen, z.B. an den in letzter Zeit immer häufiger vorkommenden Putzen mit Anstrichen auf Kunststoffbasis o.ä. benutzt werden.

Es war nicht möglich, für die Praxis allgemein den "besten" Putz anzugeben. Die Auswahl der richtigen Putzart muß vielmehr von Fall zu Fall getroffen werden und hängt hauptsächlich von den örtlichen klimatischen Verhältnissen (Häufigkeit der Regenfälle und Stärke der Winde usw.) und von dem Wandbaustoff, auf dem der Putz aufgebracht wird, ab (Saugfähigkeit des Putzgrundes, Haftung des Putzes usw.).

Im allgemeinen werden die in DIN 18 550 aufgeführten normalen zweilagigen Außenputze einen ausreichenden Schutz gegen Schlagregen bieten. Liegen besonders ungünstige klimatische Verhältnisse vor, so kann ein erhöhter Schlagregenschutz durch einen Silicon-Anstrich des Oberputzes und durch

Zahlentafel 12

Die Widerstandsfähigkeit gegen Schlagregenbeanspruchung  
und die Wasserdampfdurchlässigkeit  
von etwa 2 Jahre alten Außenputzen

Zusammenfassung der Versuchsergebnisse  
(Mittelwerte)  
(Vergleiche auch die graphischen Dar-  
stellungen auf Seite und )

Putzart	Schlagregenversuche Durch- feuch- tungs- zeit T	Wasser- aufnahme in Gew.-%	Wasserdampfdurchlässigkeit Wasserdampf- durchgangs- zahl $k_d$ $\left[ \frac{10^{-5} \text{ kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmWS}} \right]$	Diffusions- widerstand- faktor $\mu$ [-]
Zement I	> 96 Std.		0,36	126
Zement II	> 96 Std.		0,25	184
KZ I	29 Min.	6,8	1,3	35
KZ I S	30 "	6,8	1,4	35
KZ I D	43 "	5,7	1,65	28
KZ II	54 "	5,9	1,0	46
KZ II S	53 "	6,0	1,0	46
KZ II D	60 "	4,9	1,5	31
HK I	33 Min.	7,3	3,0	16
HK I S	67 "	6,1	2,5	19
HK I D	22 "	6,0	3,1	15
HK II	40 "	6,0	2,1	22
HK II S	122 "	5,4	2,6	18
HK II D	23 "	6,4	2,3	20
WK I	8 Min.	6,1	3,3	14
WK I S	9 "	5,9	3,1	16
WK I D	13 "	5,7	2,3	20
WK II	10 "	5,3	3,6	12
WK II S	9 "	6,4	2,7	18
WK II D	12 "	6,2	3,6	13
2-lag I	21 Min.	7,1	1,3	-
2-lag I S	18 "	5,7	1,3	-
2-lag I D	25 "	7,6	1,5	-
2-lag II	45 "	7,6	0,9	-
2-lag II S	29 "	7,3	1,5	-
2-lag II D	52 "	6,5	1,5	-

Zeichenerklärung :

I = Sand I (fein)	KZ = Kalkzementputz
II = Sand II (grob)	HK = hochhydraulischer Kalkputz
S = Silicon-Anstrich	WK = Weißkalkputz
D = Dichtungsmittel- zusatz	2-lag = zweilagiger Putz

den Zusatz eines guten Dichtungsmittels zum Unterputz erreicht werden. Nur in seltenen Fällen, bei ungewöhnlich ungünstigen Verhältnissen werden reine Zementputze zur Anwendung gelangen. Da die Zementputze als "Dampfsperre" wirken, muß in diesen Fällen durch geeignete Maßnahmen verhindert werden, daß in den Außenwänden Wasserdampfkondensation auftritt.

Die dichtesten Putze sind nutzlos, wenn im Putzgrund infolge Schwindens oder Setzungen des Außenmauerwerkes der Gebäude Risse auftreten. Deswegen müssen alle Vorkehrungen konstruktiver Art getroffen werden, um die Bildung von Rissen im Putzgrund zu verhindern. Wenn dies gelingt, bieten richtig ausgewählte und gut ausgeführte Putze - wie die Versuche ergeben haben - einen guten Schutz gegen Schlagregenbeanspruchung.

Schrifttumsnachweis

- 1) O. Krischer Die wissenschaftlichen Grundlagen  
der Trocknungstechnik  
1856, Springer, Berlin
- 2) Schüle und Schäcke Feuchtigkeitstechnische Untersuchun-  
gen an massiven und zweischaligen  
Kalksandsteinmauern  
Tonindustrie Zeitung 1952
- 3) L.E. Nevander Effects of Driving Rain on Face  
Brick Walls  
a Bibliography.  
Statens Nämnd för Byggnadsforskning
- 4) O. Bröcker Die Widerstandsfähigkeit von Außen-  
wänden bei Beanspruchung durch  
Schlagregen  
Diss. T.H. Braunschweig 1954
- 5) Piepenburg So macht man guten Putz  
Bauverlag Wiesbaden
- 6) W.S.Kather und Sodium methylsiliconate  
A.Torkelson Ind. Eng. Chem. 46/1954
- 7) Haller Der Austrocknungsvorgang von  
Baustoffen  
Diskussionsbericht Nr. 139 der EMPA  
Zürich 1942
- 8) Spruck Beitrag zur Frage des Außenputz-  
mörtels  
Dissertation 1933 Braunschweig
- 9) British Ministry "Putz von Außenwänden"  
of Works Merkblatt 1957

- 10) Hütte Des Ingenieurs Taschenbuch I  
27. Auflage
- 11) S.D.Svendsen Puss i norsk klima  
Johan Grundt Tamun Vorlag  
Oslo 1954
- 12) Pohl Wärmedurchgangsmessungen bei Wind-  
anfall und Schlagregen  
Dissertation T.H. Braunschweig 1937
- 13) Venosta Regenwasser und Bauwerk  
Schweizerische Bauzeitung Bd. 125  
Nr. 24, 1945
- 14) Thein Untersuchungen über die Regendurch-  
lässigkeit von Ziegelrohbaumauer-  
werkskörpern bei künstlicher Schlag-  
regenwirkung  
Dissertation T.H. Braunschweig 1931
- 15) Wissmann Über das Verhalten von Baustoffen  
gegen Feuchtigkeitseinwirkungen  
aus der umgebenden Luft.  
Dissertation T.H. Darmstadt 1954 D 17
- 16) W. Schüle Die Bestimmung der Wasserdampfdurch-  
lässigkeit von Stoffen  
Handbuch der Werkstoffprüfung  
2. Auflage 3. Band, Berlin 1957
- 17) J.S. Cammerer Bezeichnungen und Berechnungsver-  
fahren für Diffusionsvorgänge im  
Bauwesen.  
Kältetechnik, Jg. 8, Heft 11

A N H A N G

	Seite
Anlage 1 : Zusammenstellung der untersuchten Putzflächen	74 - 79
Anlage 2 : Ergebnisse der Berechnungen der Putzflächen	80 - 99
Anlage 3 : Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen	100 - 103
Anlage 4 : Einfluß des Feuchtigkeits- gehaltes auf die Durchfeuch- tungszeiten T	104



A n l a g e 1, Blatt 1

Zusammenstellung der untersuchten Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Putz- dicke cm	Sand	Dich- tungs- mittel	Silicon- anstrich	Datum der Herstellung	Gewicht des Holzrahmens lufttrocken g	Gewicht des trockenen Putzes ( ohne Rahmen ) kg
1	Zementputz	1,5	II	-	-	31.5.55	-	-
2	"	1,5	II	-	-	"	-	-
3	"	1,5	II	-	-	"	-	8,474
4	"	1,5	II	-	-	"	-	-
5	"	1,5	II	-	ja	"	-	-
6	"	1,5	II	-	ja	"	-	-
7	"	1,5	II	-	ja	"	-	-
8	"	1,5	II	-	ja	"	-	-
9	"	1,5	II	ja	-	"	-	-
10	"	1,5	II	ja	-	"	-	-
11	"	1,5	II	ja	-	"	-	-
12	"	1,5	II	ja	-	"	-	-
13	Zementputz	1,5	I	-	-	1.6.55	-	8,431
14	"	1,5	I	-	-	"	-	-
15	"	1,5	I	-	-	"	-	-
16	"	1,5	I	-	-	"	-	-
17	"	1,5	I	-	ja	"	-	-
18	"	1,5	I	-	ja	"	-	-
19	"	1,5	I	-	ja	"	-	-
20	"	1,5	I	-	ja	"	-	-
21	"	1,5	I	ja	-	"	-	-
22	"	1,5	I	ja	-	"	-	-
23	"	1,5	I	ja	-	"	-	-
24	"	1,5	I	ja	-	"	-	-

# A n l a g e 1, Blatt 2

## Zusammenstellung der untersuchten Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Putz- dicke cm	Sand	Dich- tungs- mittel	Silicon- anstrich	Datum der Herstellung	Gewicht des Holzrahmens lufttrocken g	Gewicht des trockenen Putzes ( ohne Rahmen ) kg
25	Kalkzementputz	1,5	II	-	-	2.6.55	0,760	8,29
26	"	1,5	II	-	-	"	0,760	8,46
27	"	1,5	II	-	-	"	0,740	8,38
28	"	1,5	II	-	-	"	0,790	8,47
29	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,800	
30	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,810	8,81
31	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,790	8,26
32	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,800	7,85
33	"	1,5	II	ja	-	"	0,750	7,66
34	"	1,5	II	ja	-	"	0,770	7,49
35	"	1,5	II	ja	-	"	0,770	7,70
36	"	1,5	II	ja	-	"	0,780	7,55
37	Kalkzementputz	1,5	I	-	-	3.6.55	0,810	8,14
38	"	1,5	I	-	-	"	0,770	7,71
39	"	1,5	I	-	-	"	0,740	8,11
40	"	1,5	I	-	-	"	0,795	7,605
41	"	1,5	I	-	ja *)	"	0,790	8,04
42	"	1,5	I	-	ja *)	"	0,770	7,94
43	"	1,5	I	-	ja **)	"	0,810	7,82
44	"	1,5	I	-	ja **)	"	0,830	7,60
45	"	1,5	I	ja	-	"	0,790	7,60
46	"	1,5	I	ja	-	"	0,770	7,16
47	"	1,5	I	ja	-	"	0,810	7,605
48	"	1,5	I	ja	-	"	0,830	7,87

- 75 -

\*) Silicon-Anstrich 1 : 1 verdünnt  
 \*\*) " " konzentriert

# A n l a g e 1, Blatt 3

## Zusammenstellung der untersuchten Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Putz- dicke cm	Sand	Dich- tungs- mittel	Silicon- anstrich	Datum der Herstellung	Gewicht des Holzrahmens lufttrocken g	Gewicht des trockenen Putzes ( ohne Rahmen ) kg
49	Hochhydraul.Kalkputz	1,5	II	-	-	6.6.55	0,765	7,38
50	"	1,5	II	-	-	"	0,890	7,82
51	"	1,5	II	-	-	"	0,800	8,20
52	"	1,5	II	-	-	"	0,700	7,66
53	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,770	7,79
54	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,830	7,63
55	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,790	7,40
56	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,740	7,43
57	"	1,5	II	ja	-	"	0,870	7,31
58	"	1,5	II	ja	-	"	0,860	7,65
59	"	1,5	II	ja	-	"	0,860	7,61
60	"	1,5	II	ja	-	"	0,780	7,23
61	Hochhydraul.Kalkputz	1,5	I	-	-	7.6.55	0,765	7,58
62	"	1,5	I	-	-	"	0,780	7,46
63	"	1,5	I	-	-	"	0,780	7,66
64	"	1,5	I	-	-	"	0,760	7,67
65	"	1,5	I	-	ja *)	"	0,900	7,50
66	"	1,5	I	-	ja *)	"	0,810	7,64
67	"	1,5	I	-	ja *)	"	0,810	7,66
68	"	1,5	I	-	ja *)	"	0,870	7,26
69	"	1,5	I	ja	-	"	0,790	6,76
70	"	1,5	I	ja	-	"	0,800	7,70
71	"	1,5	I	ja	-	"	0,760	6,93
72	"	1,5	I	ja	-	"	0,805	7,23

\*) Silicon-Anstrich 1 : 1 verdünnt

A n l a g e 1, Blatt 4

Zusammenstellung der untersuchten Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Putz- dicke cm	Sand	Dich- tungs- mittel	Silicon- anstrich	Datum der Herstellung	Gewicht des Holzrahmens lufttrocken g	Gewicht des trockenen Putzes ( ohne Rahmen ) kg
73	Weißkalkputz	1,5	II	-	-	8.6.55	0,830	7,46
74	"	1,5	II	-	-	"	0,720	-
75	"	1,5	II	-	-	"	0,800	7,31
76	"	1,5	II	-	-	"	0,820	
77	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,800	7,48
78	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,800	7,41
79	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,670	7,36
80	"	1,5	II	-	ja *)	"	0,765	7,87
81	"	1,5	II	ja	-	"	0,870	7,38
82	"	1,5	II	ja	-	"	0,870	7,30
83	"	1,5	II	ja	-	"	0,740	7,69
84	"	1,5	II	ja	-	"	0,790	7,07
85	Weißkalkputz	1,5	I	-	-	13.6.55	0,800	6,86
86	"	1,5	I	-	-	"	0,800	7,36
87	"	1,5	I	-	-	"	0,800	7,01
88	"	1,5	I	-	-	"	0,800	7,12
89	"	1,5	I	-	ja **)	"	0,740	
90	"	1,5	I	-	ja **)	"	0,810	7,40
91	"	1,5	I	-	ja **)	"	0,730	6,95
92	"	1,5	I	-	ja **)	"	0,770	7,18
93	"	1,5	I	ja	-	"	0,740	7,68
94	"	1,5	I	ja	-	"	0,770	6,92
95	"	1,5	I	ja	-	"	0,775	-
96	"	1,5	I	ja	-	"	0,720	7,36

\*) Silicon-Anstrich 1 : 1 verdünnt

\*\*) Silicon-Anstrich konzentriert

A n l a g e 1, Blatt 5

Zusammenstellung der untersuchten Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Putz- dicke cm	Sand	Dich- tungs- mittel	Silicon- anstrich	Datum der Herstellung	Gewicht des Holzrahmens lufttrocken g	Gewicht des getrockneten Putzes ( ohne Rahmen ) kg
97	2-lag. Putz U.P.= Kalkzement O.P.= Weißkalk " " " " " "	2,0	II	-	-	9.6.55	1,105	9,83 9,22 9,83 9,61 9,25 9,29 10,32 8,96 9,26 9,78
98		2,0	II	-	-	"	1,160	
99		2,0	II	-	-	"	1,150	
100		2,0	II	-	-	"	1,225	
101		2,0	II	-	ja *)	"	1,200	
102		2,0	II	-	ja *)	"	1,060	
103		2,0	II	-	ja *)	"	1,210	
104		2,0	II	-	ja *)	"	1,150	
105		2,0	II	ja	-	"	1,150	
106		2,0	II	ja	-	"	1,140	
107		2,0	II	ja	-	"	1,215	
108		2,0	II	ja	-	"	1,045	
109	2-lag. Putz U.P.= Kalkzement O.P.= Weißkalk " " " " " "	2,0	I	-	-	13.6.55	1,050	9,66 9,96 9,63 9,95 9,81 10,06 9,90 9,55 9,00 - 9,56 9,17
110		2,0	I	-	-	"	1,100	
111		2,0	I	-	-	"	1,060	
112		2,0	I	-	-	"	1,130	
113		2,0	I	-	ja **)	14.6.55	1,090	
114		2,0	I	-	ja **)	"	1,020	
115		2,0	I	-	ja **)	"	1,130	
116		2,0	I	-	ja **)	"	1,170	
117		2,0	I	ja	-	10.6.55	1,210	
118		2,0	I	ja	-	"	1,080	
119		2,0	I	ja	-	"	1,170	
120		2,0	I	ja	-	"	1,160	

\*) Silicon-Anstrich 1 : 1 verdünnt

\*\*) " " konzentriert

# A n l a g e 1, Blatt 6

## Zusammenstellung der untersuchten Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Putz- dicke cm	Sand	Dich- tungs- mittel	Silicon- anstrich	Datum der Herstellung	Gewicht des Holzrahmens lufttrocken g	Gewicht des trockenen Putzes ( ohne Rahmen ) kg
121	Kalkzementputz	2,5	I	-	-	14.6.55	1,150	13,08
122	"	2,5	I	-	-	"	1,190	13,13
123	"	4,0	I	-	-	"	1,790	18,84
124	"	4,0	I	-	-	"	1,720	19,24
125	"	5,0	I	-	-	"	2,140	23,01
126	"	5,0	I	-	-	"	2,290	23,55
127	"	2,5	II	-	-	"	1,150	13,32
128	"	2,5	II	-	-	"	1,120	13,06
129	"	4,0	II	-	-	"	1,810	19,67
130	"	4,0	II	-	-	"	1,660	18,95
131	"	5,0	II	-	-	"	2,110	23,19
132	"	5,0	II	-	-	"	2,130	23,60
133	"	1,5	III	-	-	1.10.56	1,010	8,32
134	"	1,5	III	-	-	"	1,030	7,64
135	"	1,5	IV	-	-	"	1,020	8,21
136	"	1,5	IV	-	-	"	0,790	8,11

Anlage 2, Blatt 1

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 1. Berechnung  
Alter der Putzflächen: 4 Wochen

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichts- zunahme g	(*)	Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
25	KZ	-	II	8,29	9200	320	3,9	83	1:1
26	"	-	II	8,46	9245	385	4,6	60	
27	"	-	II	8,38	-	-	-	-	
28	"	-	II	8,47	-	-	-	-	
29	KZ	S	II	8,22	8897	393	4,7	66	
30	"	S	II	8,81	9565	525	6,0	60	
31	"	S	II	8,26	-	-	-	-	
32	"	S	II	7,85	-	-	-	-	
33	KZ	D	II	7,66	8220	400	5,2	130	
34	"	D	II	7,49	8140	380	5,1	121	
35	"	D	II	7,70	-	-	-	-	
36	"	D	II	7,55	-	-	-	-	
37	KZ	-	I	8,14	9110	330	4,0	82	
38	"	-	I	7,71	8520	380	4,8	75	
39	"	-	I	8,11	-	-	-	-	
40	"	-	I	7,605	-	-	-	-	
41	KZ	S	I	8,04	8840	400	5,0	50	
42	"	S	I	7,94	8740	420	5,3	55	
43	"	S	I	7,82	-	-	-	-	
44	"	S	I	7,60	-	-	-	-	
45	KZ	D	I	7,60	8380	290	3,8	184	
46	"	D	I	7,16	7890	380	5,2	123	
47	"	D	I	7,605	-	-	-	-	
48	"	D	I	7,87	-	-	-	-	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 2

Beregnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 1. Beregnung

Alter der Putzflächen: 4 Wochen

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Beregnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	% *)		
49	HK	-	II	7,38	8260	470	6,4	83	
50	"	-	II	7,82	8850	460	5,9	120	
51	"	-	II	8,20	-	-	-	-	
52	"	-	II	7,66	-	-	-	-	
53	HK	S	II	7,79	8600	320	4,2	255	
54	"	S	II	7,63	8480	390	5,1	240	
55	"	S	II	7,40	-	-	-	-	
56	"	S	II	7,43	-	-	-	-	
57	HK	D	II	7,31	8160	480	6,6	415	
58	"	D	II	7,65	8440	460	6,0	356	
59	"	D	II	7,61	-	-	-	-	
60	"	D	II	7,23	-	-	-	-	
61	HK	-	I	7,58	8230	700	9,2	31	
62	"	-	I	7,46	8305	645	8,7	30	
63	"	-	I	7,66	-	-	-	-	
64	"	-	I	7,67	-	-	-	-	
65	HK	S	I	7,50	8375	285	3,8	53	
66	"	S	I	7,64	8395	275	3,6	60	
67	"	S	I	7,66	-	-	-	-	
68	"	S	I	7,26	-	-	-	-	
69	HK	D	I	6,76	7540	410	6,1	234	
70	"	D	I	7,70	7530	440	5,7	249	
71	"	D	I	6,93	-	-	-	-	
72	"	D	I	7,23	-	-	-	-	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen



Anlage 2, Blatt 3

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 1. Berechnung

Alter der Putzflächen: 4 Wochen

Nr. Putzfläche	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung		Gewichts- zunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
					g	g	g	%*)		
73	WK	-	II	7,46	8180	420	5,6	15		
74	"	-	II	-	7565	390	-	14		
75	"	-	II	7,31	-	-	-	-		
76	"	-	II	7,33	-	-	-	-		
77	WK	S	II	7,48	8050	350	4,7	16		
78	"	S	II	7,41	8050	385	5,2	15		
79	"	S	II	7,36	-	-	-	-		
80	"	S	II	7,87	-	-	-	-		
81	WK	D	II	7,38	8100	385	5,2	38		
82	"	D	II	7,30	8050	490	6,7	27		
83	"	D	II	7,69	-	-	-	-		
84	"	D	II	7,07	-	-	-	-		
85	WK	-	I	6,86	7530	370	5,4	6		
86	"	-	I	7,36	8080	350	4,8	5		
87	"	-	I	7,01	-	-	-	-		
88	"	-	I	7,12	-	-	-	-		
89	WK	S	I	6,88	7420	260	3,8	10		
90	"	S	I	7,40	8070	250	3,4	8		
91	"	S	I	6,95	-	-	-	-		
92	"	S	I	7,18	-	-	-	-		
93	WK	D	I	7,68	8280	295	3,9	23		
94	"	D	I	6,92	7600	300	4,3	31		
95	"	D	I	-	-	-	-	-		
96	"	D	I	7,36	-	-	-	-		zer- stört

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 4

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 1. Berechnung

Alter der Putzflächen: 4 Wochen

Nr.	Putzfläche	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung		Gewichts- zunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	g	g	%*)		
97	2lag.	-	-	II	9,93	10790	770	7,7	26		
98	"	-	-	II	9,83	10815	775	7,9	23		
99	"	-	-	II	9,22	-	-	-	-		
100	"	-	-	II	9,83	-	-	-	-		
101	"	S	-	II	9,61	10210	400	4,2	62		
102	"	S	-	II	9,25	10135	585	6,3	29		
103	"	S	-	II	9,29	-	-	-	-		am Rand
104	"	S	-	II	10,32	-	-	-	-		durch- feuch- tet
105	"	D	-	II	9,84	10670	650	7,1	80		
106	"	D	-	II	8,96	9830	630	7,0	66		
107	"	D	-	II	9,26	-	-	-	-		
108	"	D	-	II	9,78	-	-	-	-		
109	2lag	-	-	I	9,66	10500	650	6,7	21		
110	"	-	-	I	9,96	10950	700	7,0	21		
111	"	-	-	I	9,63	-	-	-	-		
112	"	-	-	I	9,95	-	-	-	-		
113	"	S	-	I	9,81	10675	325	3,3	73		
114	"	S	-	I	10,06	10850	260	2,6	77		
115	"	S	-	I	9,90	-	-	-	-		
116	"	S	-	I	9,55	-	-	-	-		
117	"	D	-	I	9,00	9950	520	5,8	98		
118	"	D	-	I	-	10065	515	-	104		
119	"	D	-	I	9,56	-	-	-	-		
120	"	D	-	I	9,17	-	-	-	-		

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 5

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 1. Berechnung

Alter der Putzflächen: 4 Wochen

Putzfläche Nr.	Putzart	Putzdicke	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	‰*)		
121	KZ	2,5	I	13,08	14460	860	6,6	57	
122	"	2,5	I	13,13	14500	800	6,1	84	
123	"	4,0	I	18,84	21690	810	4,5	148	
124	"	4,0	I	19,24	22160	740	3,8	103	
125	"	5,0	I	23,01	26990	760	3,3	192	
126	"	5,0	I	23,55	27250	940	4,0	272	
127	KZ	2,5	II	13,32	14820	720	5,4	47	
128	"	2,5	II	13,06	14250	870	6,6	31	
129	"	4,0	II	19,67	22180	1150	5,8	83	
130	"	4,0	II	18,95	21180	1190	6,3	69	
131	"	5,0	II	23,19	26330	1050	4,5	108	
132	"	5,0	II	23,60	26720	1390	5,9	96	
133	KZ	1,5	III	8,32	9240	660	7,9	24	
134	"	1,5	III	7,64	8560	620	8,1	15	
135	"	1,5	IV	8,21	9050	380	4,6	22	
136	"	1,5	IV	8,11	9170	420	5,2	20	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 6

Berechnung der Putzflächen  
=====

Ergebnisse der 2. Berechnung  
Alter der Putzflächen: 4 Monate

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichts- zunahme g	%*)	Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
25	KZ	-	II	8,29	-	-	-	-	
26	"	-	II	8,46	-	-	-	-	
27	"	-	II	8,38	8948	542	6,4	51	
28	"	-	II	8,47	9010	550	6,5	31	
29	KZ	S	II	8,22	-	-	-	-	
30	"	S	II	8,81	-	-	-	-	
31	"	S	II	8,26	9005	520	6,3	59	
32	"	S	II	7,85	8600	450	5,7	49	
33	KZ	D	II	7,66	-	-	-	-	
34	"	D	II	7,49	-	-	-	-	
35	"	D	II	7,70	8410	440	5,7	86	
36	"	D	II	7,55	8260	425	5,6	70	
37	KZ	-	I	8,14	-	-	-	-	
38	"	-	I	7,71	-	-	-	-	
39	"	-	I	8,11	8810	570	7,0	43	
40	"	-	I	7,605	8350	560	7,4	41	
41	KZ	S	I	8,04	-	-	-	-	
42	"	S	I	7,94	-	-	-	-	
43	"	S	I	7,82	8590	260	3,3	234	
44	"	S	I	7,60	8350	322	4,2	101	
45	KZ	D	I	7,60	-	-	-	-	
46	"	D	I	7,16	-	-	-	-	
47	"	D	I	7,605	8140	450	5,9	92	
48	"	D	I	7,87	8700	450	5,7	89	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 7

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 2. Berechnung

Alter der Putzflächen: 4 Monate

Nr.	Putzfläche	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung		Gewichts- zunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	g	g	%*)		
49	HK	-	II	7,38	-	-	-	-	-	-	
50	"	-	II	7,82	-	-	-	-	-	-	
51	"	-	II	8,20	8900	630	7,7	43			
52	"	-	II	7,66	8380	570	7,4	25			
53	HK	S	II		-	-	-	-	-	-	
54	"	S	II	7,63	-	-	-	-	-	-	
55	"	S	II	7,40	8320	300	4,1	143			
56	"	S	II	7,43	8240	390	5,2	160			
57	HK	D	II	7,31	-	-	-	-	-	-	
58	"	D	II	7,65	-	-	-	-	-	-	
59	"	D	II	7,61	8400	520	6,8	23			
60	"	D	II	7,23	8030	500	6,9	19			
61	HK	-	I	7,58	-	-	-	-	-	-	
62	"	-	I	7,46	-	-	-	-	-	-	
63	"	-	I	7,66	8495	555	7,2	36			
64	"	-	I	7,67	8390	620	8,1	36			
65	HK	S	I	7,50	-	-	-	-	-	-	
66	"	S	I	7,64	-	-	-	-	-	-	
67	"	S	I	7,66	8520	280	3,6	44			
68	"	S	I	7,26	8150	260	3,6	48			
69	HK	D	I	6,76	-	-	-	-	-	-	
70	"	D	I	7,70	-	-	-	-	-	-	
71	"	D	I	6,93	7740	480	6,9	38			
72	"	D	I	7,23	8040	550	7,6	31			

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 8

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 2. Berechnung

Alter der Putzflächen: 4 Monate

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	% *)		
73	WK	-	II	7,46	-	-	-	-	
74	"	-	II	-	-	-	-	-	
75	"	-	II	7,31	8050	525	7,2	6	
76	"	-	II	7,33	8000	480	6,4	7	
77	WK	S	II	7,48	-	-	-	-	
78	"	S	II	7,41	-	-	-	-	
79	"	S	II	7,36	8130	420	5,7	8	
80	"	S	II	7,87	8585	380	4,8	10	
81	WK	D	II	7,38	-	-	-	-	
82	"	D	II	7,30	-	-	-	-	
83	"	D	II	7,69	8450	535	7	7	
84	"	D	II	7,07	7845	465	6,6	7	
85	WK	-	I	6,86	-	-	-	-	
86	"	-	I	7,36	-	-	-	-	
87	"	-	I	7,01	7700	360	5,1	6	
88	"	-	I	7,12	7935	420	5,9	7	
89	WK	S	I	6,88	-	-	-	-	
90	"	S	I	7,40	-	-	-	-	
91	"	S	I	6,95	7650	290	4,2	5	
92	"	S	I	7,18	7985	355	4,9	6	
93	WK	D	I	7,68	-	-	-	-	
94	"	D	I	6,92	-	-	-	-	
95	"	D	I	-	-	-	-	-	
96	"	D	I	7,36	8040	460	6,2	7	zer- stört

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 9

Berechnung der Putzflächen

Ergebnisse der 2. Berechnung

Alter der Putzflächen: 4 Monate

Nr. Putzfläche	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung		Gewichts- zunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
					g	g	% *)			
97	2lag.	-	II	9,93	-	-	-	-	-	
98	"	-	II	9,83	-	-	-	-	-	
99	"	-	II	9,22	10210	740	8	19		
100	"	-	II	9,83	10850	810	8,2	19		
101	"	S	II	9,61	-	-	-	-	-	
102	"	S	II	9,25	-	-	-	-	-	
103	"	S	II	9,29	10245	535	5,7	21		
104	"	S	II	10,32	11390	520	5	68		
105	"	D	II	9,84	-	-	-	-	-	
106	"	D	II	8,96	-	-	-	-	-	
107	"	D	II	9,26	10245	745	8	43		
108	"	D	II	9,78	10680	755	7,7	53		
109	2lag.	-	I	9,66	-	-	-	-	-	
110	"	-	I	9,96	-	-	-	-	-	
111	"	-	I	9,63	10490	740	7,7	18		
112	"	-	I	9,95	10880	710	7,1	16		
113	"	S	I	9,81	-	-	-	-	-	
114	"	S	I	10,06	-	-	-	-	-	
115	"	S	I	9,90	10740	315	3,2	46		
116	"	S	I	9,55	10610	340	3,6	20		
117	"	D	I	9,00	-	-	-	-	-	
118	"	D	I	-	-	-	-	-	-	
119	"	D	I	9,56	10520	780	8,2	47		zer- stört
120	"	D	I	9,17	10045	655	7,1	56		

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 10

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 2. Berechnung

Alter der Putzflächen: 4 Monate

Nr. Putzfläche	Putzart	Putzdicke	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	%*)		
121	KZ	2,5	I	13,08	14330	960	7,3	90	
122	"	2,5	I	13,13	-	-	-	-	
123	"	4,0	I	18,84	21300	1100		240	
124	"	4,0	I	19,24	-	-		-	
125	"	5,0	I	23,01	25920	1580		325	
126	"	5,0	I	23,55	-	-		-	
127	KZ	2,5	II	13,32	14770	780	5,8	90	
128	"	2,5	II	13,06	-	-	-	-	
129	"	4,0	II	19,67	22200	1150	5,8	147	
130	"	4,0	II	18,95	-	-	-	-	
131	"	5,0	II	23,19	25900	1320	5,7	231	
132	"	5,0	II	23,60	-	-	-	-	
133	KZ	1,5	III	8,32	-	-	-	-	
134	"	1,5	III	7,64	-	-	-	-	
135	"	1,5	IV	8,21	-	-	-	-	
136	"	1,5	IV	8,11	-	-	-	-	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen



Anlage 2, Blatt 11

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 3. Berechnung

Alter der Putzflächen: 12 Monate

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichts- zunahme g	%*)	Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
25	KZ	-	II	8,29	9150	530	6,4	61	Risse
26	"	-	II	8,46	9300	500	5,9	64	
27	"	-	II	8,38	9310	510	6,1	38	
28	"	-	II	8,47	9210	490	5,8	32	
29	KZ	S	II	8,22	9000	480	5,8	68	
30	"	S	II	8,81	9700	500	5,7	61	
31	"	S	II	8,26	9140	470	5,7	43	
32	"	S	II	7,85	8750	430	5,5	34	
33	KZ	D	II	7,66	8430	370	4,8	81	
34	"	D	II	7,49	8320	410	5,5	71	
35	"	D	II	7,70	8580	390	5,1	55	
36	"	D	II	7,55	8420	410	5,4	59	
37	KZ	-	I	8,14	9080	515	6,3	59	Riss
38	"	-	I	7,71	8585	435	5,7	51	
39	"	-	I	8,11	9000	580	7,1	25	
40	"	-	I	7,605	8520	520	6,8	28	
41	KZ	S	I	8,04	8900	425	5,3	36	
42	"	S	I	7,94	8830	450	5,7	37	
43	"	S	I	7,82	8740	310	4,0	169	
44	"	S	I	7,60	8520	310	4,1	45	
45	KZ	D	I	7,60	8530	360	4,7	70	
46	"	D	I	7,16	8060	370	5,2	48	
47	"	D	I	7,605	8320	440	5,8	49	
48	"	D	I	7,87	8860	500	6,3	54	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 12

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 3. Berechnung

Alter der Putzflächen: 12 Monate

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	%)		
49	HK	-	II	7,38	8220	540	7,3	41	
50	"	-	II	7,82	8800	540	6,9	44	
51	"	-	II	8,20	9000	640	7,8	38	
52	"	-	II	7,66	8450	600	7,8	30	
53	HK	S	II	7,79	8650	380	4,9	164	
54	"	S	II	7,63	8600	320	4,2	132	
55	"	S	II	7,40	8210	310	4,2	114	
56	"	S	II	7,43	8310	320	4,3	161	
57	HK	D	II	7,31	8180	490	6,7	21	
58	"	D	II	7,65	8530	500	6,5	34	
59	"	D	II	7,61	8470	490	6,4	20	
60	"	D	II	7,23	8110	540	7,5	20	
61	HK	-	I	7,58	8350	570	7,5	38	
62	"	-	I	7,46	8400	600	8,0	30	
63	"	-	I	7,66	8520	600	7,8	40	
64	"	-	I	7,67	8460	640	8,3	30	
65	HK	S	I	7,50	8450	440	5,9	37	Risse
66	"	S	I	7,64	8432	372	4,6	75	
67	"	S	I	7,66	8640	310	4,1	78	
68	"	S	I	7,26	8230	300	4,1	55	
69	HK	D	I	6,76	7620	440	6,5	35	
70	"	D	I	7,70	7610	490	6,4	36	
71	"	D	I	6,93	7810	490	7,1	25	
72	"	D	I	7,23	8110	540	7,5	21	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen.

Anlage 2, Blatt 13

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 3. Berechnung

Alter der Putzflächen: 12 Monate

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung		Gewichts- zunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
					g	g	%*)			
73	WK	-	II	7,46	8260	380	5,1	8	zer- stört	
74	"	-	II	-	-	-	-			
75	"	-	II	7,31	8120	350	4,8	11		
76	"	-	II	7,33	8060	310	4,2	9		
77	WK	S	II	7,48	8150	390	5,2	10		
78	"	S	II	7,41	8175	345	4,6	8		
79	"	S	II	7,36	8200	380	5,2	14		
80	"	S	II	7,87	8680	330	4,2	14		
81	WK	D	II	7,38	8220	330	4,5	12		
82	"	D	II	7,30	8160	450	6,2	11		
83	"	D	II	7,69	8480	440	5,7	15		
84	"	D	II	7,07	7880	300	4,2	11		
85	WK	-	I	6,86	7620	400	5,8	9		
86	"	-	I	7,36	8140	420	5,7	11		
87	"	-	I	7,01	7800	450	6,4	9		
88	"	-	I	7,12	8020	410	5,8	8		
89	WK	S	I	6,88	7530	380	5,4	12		
90	"	S	I	7,40	8180	410	5,5	13		
91	"	S	I	6,95	7750	380	5,5	11		
92	"	S	I	7,18	8060	320	4,5	12		
93	WK	D	I	7,68	8400	370	4,8	13		
94	"	D	I	6,92	7660	410	5,9	12		
95	"	D	I	-	-	-	-			
96	"	D	I	7,36	8130	350	4,7	17		zer- stört

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

A n l a g e 2, Blatt 14

Berechnung der Putzflächen

Ergebnisse der 3. Berechnung

Alter der Putzflächen: 12 Monate

Nr.	Putzfläche	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung	Gewichts- zunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	g	% *)		
97	2lag	-	II	9,93	11030	750	7,5	51		
98	"	-	II	9,83	11040	740	7,5	60		
99	"	-	II	9,22	10400	640	6,9	26		
100	"	-	II	9,83	11030	710	7,2	23		
101	"	S	II	9,61	10420	630	6,5	26		
102	"	S	II	9,25	10320	610	6,6	34		
103	"	S	II	9,29	10450	690	7,4	19		
104	"	S	II	10,32	11600	750	7,3	27		
105	"	D	II	9,84	10870	630	6,4	79		
106	"	D	II	8,96	10070	570	6,4	48		
107	"	D	II	9,26	10410	650	7	40		
108	"	D	II	9,78	10860	650	6,6	59		
109	2lag.	-	I	9,66	10770	560	5,8	25	zer- stört	
110	"	-	I	9,96	11140	570	5,7	25		
111	"	-	I	9,63	10720	460	4,8	22		
112	"	-	I	9,95	11090	620	6,2	21		
113	"	S	I	9,81	10950	610	6,2	20		
114	"	S	I	10,06	11120	390	3,9	17		
115	"	S	I	9,90	11000	550	5,6	26		
116	"	S	I	9,55	10970	480	5	20		
117	"	D	I	9,00	10130	660	7,3	51		
118	"	D	I	-	-	-	-	-		
119	"	D	I	9,56	10720	740	7,7	42		
120	"	D	I	9,17	10240	620	6,8	47		

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 15

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 3. Berechnung

Alter der Putzflächen: 12 Monate

Putzfläche Nr.	Putzart	Putzdicke	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	% *)		
121	KZ	2,5	I	13,08	14530	900	6,9	77	
122	"	2,5	I	13,13	14630	900	6,85	91	
123	"	4,0	I	18,84	21165	1335	7,1	306	
124	"	4,0	I	19,24	21490	1500	7,8	152	
125	"	5,0	I	23,01	25900	1450	6,3	399	
126	"	5,0	I	23,55	26490	1790	7,6	344	
127	KZ	2,5	II	13,32	14770	870	6,5	86	
128	"	2,5	II	13,06	14380	765	5,9	63	
129	"	4,0	II	19,67	22030	1420	7,2	127	
130	"	4,0	II	18,95	21065	1315	6,7	164	
131	"	5,0	II	23,19	25850	1480	6,4	212	
132	"	5,0	II	23,60	26470	1480	6,3	235	
133	KZ	1,5	III	8,32	9250	730	8,7	19	
134	"	1,5	III	7,64	8910	590	7,8	17	
135	"	1,5	IV	8,21	9220	440	5,3	34	
136	"	1,5	IV	8,11	9210	390	4,8	40	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 16

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 4. Berechnung

Alter der Putzflächen: 2 Jahre

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min..	Bemerkung
						g	%*)		
25	KZ	-	II	8,29	9090	530	6,4	52	Risse
26	"	-	II	8,46	9470	480	5,7	75	
27	"	-	II	8,38	9120	460	5,5	48	
28	"	-	II	8,47	9290	500	5,9	40	
29	KZ	S	II	8,22	9020	480	5,8	55	
30	"	S	II	8,81	9690	570	6,5	54	
31	"	S	II	8,26	9140	480	5,8	50	
32	"	S	II	7,85	8870	480	6,1	23	
33	KZ	D	II	7,66	8420	370	4,8	76	
34	"	D	II	7,49	8400	350	4,7	55	
35	"	D	II	7,70	8540	440	5,7	59	
36	"	D	II	7,55	8520	325	4,3	51	
37	KZ	-	I	8,14	8960	570	7,0	42	konzentriert Riss
38	"	-	I	7,71	8470	500	6,5	27	
39	"	-	I	8,11	8920	550	6,8	26	
40	"	-	I	7,605	8590	520	6,8	21	
41	KZ	S	I	8,04	8930	490	6,1	37	
42	"	S	I	7,94	8920	440	5,5	25	
43	"	S	I	7,82	8740	290	3,7	119	
44	"	S	I	7,60	8690	260	3,4	27	
45	KZ	D	I	7,60	8470	410	5,4	57	
46	"	D	I	7,16	8160	350	4,9	33	
47	"	D	I	7,605	8220	480	6,3	45	
48	"	D	I	7,87	8920	480	6,1	37	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 17

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 4. Berechnung

Alter der Putzflächen: 2 Jahre

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung		Gewichts- zunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
					g	g	% *)			
49	HK	-	II	7,38	8170	490	6,6	37		
50	"	-	II	7,82	8790	490	6,3	49		
51	"	-	II	8,20	8990	540	6,6	40		
52	"	-	II	7,66	8720	350	4,6	33		
53	HK	S	II	7,79	8620	430	5,4	192		
54	"	S	II	7,63	8690	400	5,2	96		
55	"	S	II	7,40	8110	390	5,3	96		
56	"	S	II	7,43	8350	390	5,2	103		
57	HK	D	II	7,31	8240	400	5,5	22		
58	"	D	II	7,65	8670	450	5,9	30		
59	"	D	II	7,61	8380	590	7,7	23		
60	"	D	II	7,23	8190	460	6,4	17		
61	HK	-	I	7,58	8500	490	6,5	39		
62	"	-	I	7,46	8490	580	7,8	26		
63	"	-	I	7,66	8490	580	7,6	42		
64	"	-	I	7,67	8560	570	7,4	26		
65	HK	S	I	7,50	8470	450	6,0	44		Risse
66	"	S	I	7,64	8480	440	5,8	65		
67	"	S	I	7,66	8500	550	7,2	65		
68	"	S	I	7,26	8290	400	5,5	97		
69	HK	D	I	6,76	7700	410	6,1	25		
70	"	D	I	7,70	7910	280	3,6	17		
71	"	D	I	6,93	7720	530	7,6	26		
72	"	D	I	7,23	8190	480	6,8	21		

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 18

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 4. Berechnung

Alter der Putzflächen: 2 Jahre

Putzfläche Nr.	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o.Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durch- feuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	%*)		
73	WK	-	II	7,46	8270	430	5,8	6	zer- stört
74	"	-	II	-	-	-	-	-	
75	"	-	II	7,31	8100	440	6,0	8	
76	"	-	II	7,33	8240	300	4,1	15	
77	WK	S	II	7,48	8210	370	5	10	un- genau
78	"	S	II	7,41	8220	460	6,2	11	
79	"	S	II	7,36	8120	450	6,1	7	
80	"	S	II	7,87	8760	670	8,5	8	
81	WK	D	II	7,38	8250	440	6	15	Risse
82	"	D	II	7,30	8260	490	6,7	9	
83	"	D	II	7,69	8410	500	6,5	16	
84	"	D	II	7,07	7930	410	5,8	9	
85	WK	-	I	6,86	7660	400	5,8	8	
86	"	-	I	7,36	8220	500	6,8	7	
87	"	-	I	7,01	7840	380	5,4	10	
88	"	-	I	7,12	8090	450	6,3	7,5	
89	WK	S	I	6,88	7580	370	5,4	9	
90	"	S	I	7,40	8270	460	6,2	9	
91	"	S	I	6,95	7670	430	6,2	8	
92	"	S	I	7,18	8060	430	6,0	9	
93	WK	D	I	7,68	8440	410	5,3	18	
94	"	D	I	6,92	7870	410	5,9	10	
95	"	D	I	-	-	-	-	-	
96	"	D	I	7,36	8190	430	5,8	11	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen



Anlage 2, Blatt 19

Berechnung der Putzflächen

Ergebnisse der 4. Berechnung

Alter der Putzflächen: 2 Jahre

Nr. Putzfläche	Putzart	D=Dicht.mittel S=Siliconanstr.	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durchfeuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	% *)		
97	2lag.	-	II	9,93	10990	800	8,0	72	
98	"	-	II	9,83	11160	670	6,8	62	
99	"	-	II	9,22	10290	780	8,5	24	
100	"	-	II	9,83	11170	710	7,2	21	
101	"	S	II	9,61	10420	700	7,3	27	
102	"	S	II	9,25	10450	640	6,9	29	
103	"	S	II	9,29	10340	770	8,3	29	
104	"	S	II	10,32	11750	700	6,8	31	
105	"	D	II	9,84	10850	650	6,6	68	
106	"	D	II	8,96	10130	540	6	50	
107	"	D	II	9,26	10290	700	7,5	48	
108	"	D	II	9,78	11020	580	6	43	
109	2lag.	-	I	9,66	10730	620	6,4	25	
110	"	-	I	9,96	11240	730	7,3	30	
111	"	-	I	9,63	10570	760	7,9	16	
112	"	-	I	9,95	11180	690	6,9	13	
113	"	S	I	9,81	10820	630	6,4	15	
114	"	S	I	10,06	11170	590	5,9	18	
115	"	S	I	9,90	10880	600	6,1	16	
116	"	S	I	9,55	10940	440	4,6	23	
117	"	D	I	9,00	10070	680	7,7	37	
118	"	D	I	-	-	-	-		
119	"	D	I	9,56	10620	800	8,4	34	zer- stört
120	"	D	I	9,17	10410	620	6,8	28	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

Anlage 2, Blatt 20

Berechnung der Putzflächen

=====

Ergebnisse der 4. Berechnung

Alter der Putzflächen: 2 Jahre

Putzfläche Nr.	Putzart	Putzdicke	Sand	Trockengewicht des Putzes (o. Holzrahmen) kg	Gewicht der Putzflächen vor der Berechnung g	Gewichtszunahme		Durchfeuch- tungs- zeit Min.	Bemerkung
						g	%*)		
121	KZ	2,5	I	13,08	14740	815	6,2	70	
122	"	2,5	I	13,13	14810	580	4,4	81	
123	"	4,0	I	18,84	21260	1350	7,2	268	
124	"	4,0	I	19,24	21930	1200	6,3	134	
125	"	5,0	I	23,01	25690	1420	6,2	484	
126	"	5,0	I	23,55	26660	1710	7,3	307	
127	KZ	2,5	II	13,32	15170	680	5,1	80	
128	"	2,5	II	13,06	14670	710	5,4	62	
129	"	4,0	II	19,67	22460	1195	6,1	139	
130	"	4,0	II	18,95	21250	1240	6,5	125	
131	"	5,0	II	23,19	25950	1460	6,3	209	
132	"	5,0	II	23,60	26150	1680	7,1	250	
133	KZ	1,5	III	8,32	-	-	-	-	
134	"	1,5	III	7,64	-	-	-	-	
135	"	1,5	IV	8,21	-	-	-	-	
136	"	1,5	IV	8,11	-	-	-	-	

\*) bezogen auf die Trockengewichte der Putze ohne Rahmen

A n l a g e 3, Blatt 1

Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen

=====

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Versuchs- temperatur °C	rel. Luftfeuchtigkeit "trockene" / "feuchte" Seite		Wasserdampf- durchlässigkeit		Diffusions- widerstands- faktor $\mu$	
			%	%	$\frac{g}{m \cdot h \cdot mm Q_s}$	$\frac{kg}{m^2 \cdot h \cdot mm W S}$		
2	Z II	20,7	18	/ 80	0,00051	$0,25 \cdot 10^{-5}$	184	
3	Z II	18,5	18	/ 76	0,00051	$0,25 \cdot 10^{-5}$	184	
13	Z I	18,0	20	/ 77	0,00074	$0,36 \cdot 10^{-5}$	126	
25	KZ II	14,0	59	/ 79	0,00195	$0,96 \cdot 10^{-5}$	47,6	
27	KZ II	16,0	55	/ 80	0,00205	$1,01 \cdot 10^{-5}$	45,8	
29	KZ II S	19,2	45	/ 78	0,00196	$0,96 \cdot 10^{-5}$	48,1	
31	KZ II S	18,8	46	/ 77	0,00228	$1,12 \cdot 10^{-5}$	41,6	
33	KZ II D	19,2	47	/ 77	0,00308	$1,51 \cdot 10^{-5}$	30,5	
35	KZ II D	19,1	53	/ 77	0,00299	$1,47 \cdot 10^{-5}$	32,0	
37	KZ I	14,0	61	/ 80	0,00241	$1,18 \cdot 10^{-5}$	37,8	
39	KZ I	18,0	47	/ 78	0,00312	$1,53 \cdot 10^{-5}$	30,6	
41	KZ I S	18,7	51	/ 77	0,00296	$1,45 \cdot 10^{-5}$	32,2	
43	KZ I S	18,8	56	/ 80	0,00279	$1,37 \cdot 10^{-5}$	34,2	
45	KZ I D	18,6	56	/ 76	0,00336	$1,65 \cdot 10^{-5}$	28,4	

Z = Zementputz  
 KZ = Kalkzementputz  
 I = Sand I  
 II = Sand II

S = mit Silicon-Anstrich  
 D = mit Dichtungsmittelzusatz

# A n l a g e 3, Blatt 2

## Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen =====

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Versuchs- temperatur °C	rel. Luftfeuchtigkeit "trockene" / "feuchte" Seite		Wasserdampf- durchlässigkeit		Diffusions- widerstands- faktor μ	
			%	%	$\frac{g}{m \cdot h \cdot mmQs}$	$\frac{kg}{m^2 \cdot h \cdot mmWS}$		
49	HK II	14	66	/	80	0,00435	$1,98 \cdot 10^{-5}$	23,4
51	HK II	15,8	75	/	94	0,00466	$2,28 \cdot 10^{-5}$	20,6
55	HK II S	16,2	76	/	94	0,00476	$2,33 \cdot 10^{-5}$	18,2
57	HK II D	16,5	64	/	80	0,00540	$2,65 \cdot 10^{-5}$	17,9
59	HK II D	17,6	71	/	93	0,00495	$2,43 \cdot 10^{-5}$	19,6
63	HK I	17,0	67	/	88	0,00396	$1,94 \cdot 10^{-5}$	24,2
64	HK I	16,2	82	/	97	0,0061	$2,99 \cdot 10^{-5}$	15,9
65	HK I S	18,1	76	/	95	0,0051	$2,50 \cdot 10^{-5}$	19,1
69	HK I D	17,5	64	/	78	0,0064	$3,13 \cdot 10^{-5}$	15,35

HK = hochhydraulischer Kalkmörtel

I = Sand I

II = Sand II

S = mit Silicon-Anstrich

S = mit Dichtungsmittelzusatz

# Anlage 3, Blatt 3

## Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Versuchs- temperatur °C	rel. Luftfeuchtigkeit "trockene" / "feuchte"		Wasserdampf- durchlässigkeit		Diffusions- widerstands- faktor $\mu$	
			%	Seite %	$\frac{g}{m \cdot h \cdot mmQs}$	$\frac{kg}{m^2 \cdot h \cdot mmWS}$		
73	WK II	14	69	/	85	0,0076	$3,72 \cdot 10^{-5}$	12,9
75	WK II	14	71	/	80	0,0070	$3,45 \cdot 10^{-5}$	13,8
77	WK II S	17,8	62	/	76	0,0056	$2,74 \cdot 10^{-5}$	17,6
78	WK II S	17,8	76	/	94	0,0053	$2,60 \cdot 10^{-5}$	18,3
81	WK II D	17,8	62	/	76	0,0074	$3,62 \cdot 10^{-5}$	13,4
85	WK I	19,5	65	/	78	0,0068	$3,33 \cdot 10^{-5}$	14,6
87	WK I	17,8	68	/	80	0,0054	$2,65 \cdot 10^{-5}$	18
89	WK I S	15,5	79	/	94	0,0070	$3,45 \cdot 10^{-5}$	14,0
93	WK I D	17,8	60	/	76	0,0048	$2,33 \cdot 10^{-5}$	20,3
								Messung unsicher

WK = Weißkalkmörtel  
 I = Mörtel aus Sand I  
 II = Mörtel aus Sand II  
 S = mit Silicon-Anstrich  
 D = mit Dichtungsmittelzusatz

# A n l a g e 3, Blatt 4

## Wasserdampfdurchlässigkeit der Putzflächen

Putz- fläche Nr.	P u t z a r t	Versuchs- temperatur °C	rel. Luftfeuchtigkeit "trockene" / "feuchte" Seite		Wasserdampf- durchlässigkeit		Diffusions- widerstands- faktor $\mu$	
			%	%	$\frac{g}{m \cdot h \cdot mmQs}$	$\frac{kg}{m^2 \cdot h \cdot mmWS}$		
97	2 lag. II	20,9	45	/	83	0,0025	$0,92 \cdot 10^{-5}$	-
101	2 lag. II S	17,4	67	/	92	0,0040	$1,48 \cdot 10^{-5}$	-
105	2 lag. II D	17,4	66	/	93	0,0042	$1,55 \cdot 10^{-5}$	-
109	2 lag. I	21,4	50	/	79	0,0043	$1,26 \cdot 10^{-5}$	-
113	2 lag. I S	26,7	48	/	74	0,0036	$1,33 \cdot 10^{-5}$	-
117	2 lag. I D	26,7	49	/	74	0,0040	$1,47 \cdot 10^{-5}$	-
125	KZ I 5 cm	19,3	35	/	78	0,0034	$0,49 \cdot 10^{-5}$	28,0
126	KZ I "	20,5	27	/	78	0,0027	$0,40 \cdot 10^{-5}$	34,3
131	KZ II "	20,4	35	/	78	0,0032	$0,47 \cdot 10^{-5}$	29,2

- 103 -

2 lag = Zweilagiger Putz : Unterputz Kalkzementmörtel; Oberputz Weißkalkmörtel  
 I = Mörtel aus Sand I  
 II = Mörtel aus Sand II  
 S = mit Silicon-Anstrich  
 D = mit Dichtungsmittelzusatz

A n l a g e 4

Einfluß des Feuchtigkeitsgehaltes der Putzflächen  
auf die Durchfeuchtungszeit T

Putzart	Durchfeuchtungszeiten in % T <sub>4</sub> bezogen auf T <sub>3</sub>		T <sub>4</sub> "trocken" - T <sub>4</sub> "feucht"
	"trockene" Putze	"feuchte" Putze	(Spalte 2 - Spalte 3)
1	2	3	4
KZ I -	76	75	+ 1
KZ I S	86	64	+ 22
KZ I D	87	68	+ 19
KZ II -	105	121	- 16
KZ II S	95	68	+ 27
KZ II D	101	82	+ 19
HK I -	104	87	+ 17
HK I S	88	125	- 37
HK I D	88	63	+ 15
HK II -	98	110	- 12
HK II S	104	68	+ 36
HK II D	110	82	+ 28
WK I -	0	79	+ 21
WK I S	81	72	+ 9
WK I D	138	74	+ 64
WK II -	101	-	-
WK II S	75	90	- 15
WK II D	116	82	+ 34
2-lag. I -	87	93	- 6
2-lag. I S	68	110	- 42
2-lag. I D	77	60	+ 17
2-lag. II -	117	97	+ 20
2-lag. II S	128	± 0	+ 28
2-lag. II D	103	89	+ 14

Zeichenerklärung: T<sub>3</sub> = Durchfeuchtungszeit der 3. Berechnung  
T<sub>4</sub> = Durchfeuchtungszeit der 4. Berechnung

